



TUGAS AKHIR - MO141326

Analisis Pengaruh Variasi Elektroda Pada Pengelasan Aluminium 5083 Dengan 6061 Terhadap Sifat Mekanik, Struktur Mikro, dan Prediksi Korosi

ACHMAD MIKAIL RIZKI

NRP. 4314 100 011

Dosen Pembimbing :

Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D.

Dirta Marina C, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

2018



FINAL PROJECT - MO141326

ANALYSIS OF FILLER METAL VARIATION ON ALUMINIUM 5083-6061 WELDING TO IT'S MECHANICAL STRENGTH, MICROSTRUCTURE, AND CORROSION RATE

ACHMAD MIKAIL RIZKI

NRP. 4314 100 011

Supervisors :

Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D.

Dirta Marina C, S.T., M.T.

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING

Faculty of Marine Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

2018

**Analisis Pengaruh Variasi Elektroda Pada Pengelasan Aluminium 5083
Dengan 6061 Terhadap Sifat Mekanik, Struktur Mikro, dan Prediksi Korosi**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Achmad Mikail Rizki

NRP. 4314 100 011

Disetujui oleh :

Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D.

(Pembimbing 1)

Dirta Marina C, S.T., M.T.

(Pembimbing 2)

Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D.

(Penguji 1)



Surabaya, Maret 2018

ABSTRAK

ANALISIS PENGARUH VARIASI ELEKTRODA PADA PENGELASAN ALUMINIUM 5083 DENGAN 6061 TERHADAP SIFAT MEKANIK, STRUKTUR MIKRO, DAN PREDIKSI KOROSI

Nama Mahasiswa : Achmad Mikail Rizki
NRP : 4314 100 011
Departemen : Teknik Kelautan
Dosen Pembimbing : Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D.
Dirta Marina, S.T., M.T.

Aluminium kerap digunakan untuk *vessels hull, bodies of aircraft, rail road* karena paduan aluminium memiliki sifat ringan, resistensi korosi yang baik, dan ductility yang baik. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui dan mendapatkan pengaruh elektroda terhadap kekuatan tarik, kekerasan, pengamatan struktur makro-mikro, dan prediksi laju korosi pada pengelasan Aluminium seri 5083 dengan 6061. Adapun variasi elektroda yang digunakan adalah ER 5356, campuran ER 5356-ER 5556, dan ER 5556. Hasil uji kekuatan tarik menunjukkan bahwa pengelasan dengan elektroda ER 5556 menghasilkan kekuatan *yield* dan *ultimate* tertinggi yaitu 196.68 MPa dan 203.46 MPa. Pada uji kekerasan menunjukkan pengelasan dengan elektroda ER 5556 menghasilkan nilai kekerasan pada *base metal* (1), *haz* (2), *weld metal* (3), *haz* (4), dan *base metal* (5) berturut-turut 75.58 HVN, 79.59 HVN, 78.04 HVN, 73.59 HVN, 69.33 HVN. Hasil pengamatan struktur makro memiliki Panjang daerah *haz* yang relative sama. Sedangkan struktur mikro menunjukkan bahwa pengelasan menggunakan elektroda ER 5556 menghasilkan dendrit yang semakin rapat dan memperbanyak fase Mg_2Si yang dapat meningkatkan kekuatan tarik dan kekerasan. Hasil prediksi laju korosi dengan metode sel tiga elektroda menunjukkan pengelasan dengan elektroda ER 5556 memiliki laju korosi yang paling sedikit yaitu 0.011 mmpy.

Kata Kunci : Aluminium, *vessels, hull, Gas Metal Arc Welding*

ABSTRACT

ANALYSIS OF FILLER METAL VARIATION ON ALUMINIUM 5083-6061 WELDING TO IT'S MECHANICAL STRENGTH, MICROSTRUCTURE, AND CORROSION RATE

Name : Achmad Mikail Rizki
NRP : 4314 100 011
Department : Ocean Engineering
Supervisors : Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D.
Dira Marina, S.T., M.T.

Aluminum is often used for hull vessels, bodies of aircraft, rail roads because aluminum alloys have light properties, good corrosion resistance, and good ductility. The purpose of this research is to know and get the effect of electrode to tensile strength, hardness, observation of macro-micro structure, and prediction of corrosion rate in welding of Aluminum series 5083 with 6061. Electrode variations used are ER 5356, mixed ER 5356-ER 5556, and ER 5556. Tensile strength test results show that welded specimen with ER 5556 electrode yields the highest yield and ultimate strength of 196.68 MPa and 203.46 MPa. In the hardness test of welded specimen with ER 5556 electrode resulted in hardness value on base metal (1), haz (2), weld metal (3), haz (4), and base metal (5) consecutively 75.58 HVN, 79.59 HVN, 78.04 HVN, 73.59 HVN, and 69.33 HVN. The result of macro structure observation has relatively similar length of haz area. While the microstructure shows that welded specimen using ER 5556 electrode produces more dense dendrites and more Mg₂Si phase which can increase tensile strength and hardness. The result of prediction of corrosion rate with three cell electrode method shows welded specimen with ER 5556 electrode has the least corrosion rate of 0.011 mmpy.

Keyword : Aluminium, vessels, hull, Gas Metal Arc Welding

KATA PENGANTAR

Puji serta syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena berkat, rahmat dan kuasa- Nyalah penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik. Tak lupa shalawat serta salam penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW, kepada keluarganya, sahabat-sahabat dan para pengikutnya.

Judul Tugas Akhir ini adalah **“Analisis Pengaruh Variasi Elektroda Pada Pengelasan Aluminium 5083 Dengan 6061 Terhadap Sifat Mekanik, Struktur Mikro, dan Prediksi Korosi”**, dimana Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan studi kesarjanaan (S-1) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Tugas akhir ini bertujuan untuk mendapatkan dan mengetahui pengaruh variasi kandungan mangan pada elektroda terhadap kekuatan tarik, kekerasan, pengamatan struktur mikronya, dan prediksi laju korosi pada Alumunium 5083 dengan 6061.

Dalam pengerjaan dan penulisan tugas akhir ini, penulis menyadari bahwa hal tersebut masih jauh dari kata sempurna maka dari itu penulis mengharapkan kritik dan saran dari semua pihak guna sebagai penyempurnaan baik tugas akhir ini maupun penelitian atau tugas akhir selanjutnya. Harapan penulis, penelitian ini dapat bermanfaat untuk para pembaca dan penulis sendiri serta semoga dapat memberikan manfaat bagi industri-industri terkait dengan penelitian ini pada umumnya maupun bagi kemajuan teknologi di bidang kelautan khususnya.

Surabaya, Maret 2018

Achmad Mikail Rizki

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak-pihak yang telah membantu dalam proses pengerjaan tugas akhir ini. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan ridho dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Kedua orang tua penulis Bapak Munari dan Ibu Dwi serta adik-adik penulis Sasa, Akbar, dan Ifa yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan.
3. Bapak Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing 1 dan Ibu Dirda Marina, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing 2 yang telah memberikan arahan dan bimbingan kepada penulis.
4. Bapak Suntoyo, S.T., M.Eng., Ph.D selaku dosen wali penulis yang telah memberikan arahan dan bimbingan selama penulis menempuh studi.
5. Seluruh staf pengajar dan karyawan Departemen Teknik Kelautan FTK ITS yang selalu membantu dalam hal administrasi selama perkuliahan.
6. Para penguji Tugas Akhir yang telah memberikan evaluasi dan saran kepada penulis guna menyempurnakan tugas akhir yang dikerjakan.
7. Seluruh Laboratorium Konstruksi Teknik Perkapalan FTK ITS yang telah membantu dan memfasilitasi penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Teman-teman Maelstrom khususnya Hafid, Acong, RWA, Nur, AnWib teman-teman seperjuangan semasa perkuliahan.
9. Sholkiy, Odi, Firda, Heidi, dan Fara sahabat penulis yang selalu mensupport penulis dan menjadi teman berbagi suka duka.
10. Teman-teman Himatekla dan Lab. Hidrodinamika yang sudah memberikan pengalaman bermanfaatnya selama masa perkuliahan.
11. Pihak-pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Sekali lagi saya ucapkan Jazakallah Khair, semoga Allah membalas dengan balasan yang baik.

DAFTAR ISI

ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR	iv
UCAPAN TERIMA KASIH.....	v
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Dasar Teori	8
2.2.1 Alumunium	8
2.2.2 Alumunium Seri 5083	10
2.2.3 Alumunium Seri 6061	13
2.2.4 Pengelasan GMAW.....	14
2.2.5 Kawat Elektroda.....	15
2.2.6 <i>Non Destructive Test</i>	17
2.2.7 Radiography Test	17
2.2.8 Pengujian Tarik (<i>Tension Test</i>)	19
2.2.9 Pengujian Kekerasan	21
2.2.10 Pengujian Kekerasan Brinnell.....	22
2.2.11 Pengujian Kekerasan Rockwell	22
2.2.12 Pengujian Kekerasan Vickers	23
2.2.13 Pengujian Metalografi.....	24
2.2.14 Korosi.....	26
2.2.15 Laju Korosi	27
2.2.16 Sel Tiga Elektroda.....	29

BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	31
3.1 Metode Penelitian.....	31
3.2 Prosedur Penelitian.....	33
3.2.1 Studi Literatur	33
3.2.2 Persiapan	33
3.2.3 Pengelasan GMAW.....	34
3.2.4 Non Destructive Test (NDT).....	35
3.2.5 Pembuatan Spesimen Uji	35
3.2.6 Analisa dan Pembahasan.....	39
3.2.7 Kesimpulan dan Saran.....	39
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	41
4.1 <i>Welding Procedure Specification (WPS)</i>	41
4.1.1 <i>Welding Procedure Specification (WPS)</i> Pengelasan GMAW Antara Aluminium 5083 dan 6082 dengan Elektroda ER 5356	41
4.1.2 <i>Welding Procedure Specification (WPS)</i> Pengelasan GMAW Antara Aluminium 5083 dan 6082 dengan Elektroda ER 5356 dan 5556	43
4.1.3 <i>Welding Procedure Specification (WPS)</i> Pengelasan GMAW Antara Aluminium 5083 dan 6082 dengan Elektroda ER 5556	44
4.2 Hasil <i>Non-Destructive Test (Radiography Test)</i>	46
4.3 Pengujian Kekuatan Tarik	48
4.3.1 Kekuatan Tarik Pengelasan Menggunakan Elektroda ER 5356	48
4.3.2 Kekuatan Tarik Pengelasan Menggunakan Elektroda ER 5356 dan ER 5556	49
4.3.3 Kekuatan Tarik Pengelasan Menggunakan Elektroda ER 5556	50
4.3.4 Analisis Hasil Pengujian Kekuatan Tarik	51
4.4 Pengujian Metalografi	54
4.4.1 Hasil dan Analisis Struktur Makro.....	55
4.4.2 Hasil dan Analisis Struktur Mikro	57
4.5 Pengujian Kekerasan (<i>Vickers Hardness Test</i>).....	62
4.5.1 Hasil Pengujian Kekerasan	62
4.5.2 Kesimpulan Hasil Pengujian Kekerasan	64
4.6 Prediksi Laju Korosi.....	65
4.6.1 Prediksi Laju Korosi Pengelasan Variasi Elektroda	65

4.6.2	Analisis Hasil Prediksi Laju Korosi.....	67
4.7	Hasil Analisis Keseluruhan (Sifat Mekanis, Metalografi, dan Prediksi Laju Korosi)	69
BAB V PENUTUP.....		71
5.1	Kesimpulan.....	71
5.2	Saran	72
DAFTAR PUSTAKA		73
LAMPIRAN		1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Grafik Perbandingan Aluminium yang Ditambahkan Mn dan Aluminium 6061	5
Gambar 2.2. Struktur mikro paduan Al-Mg-Si-Cu-Cr-V tanpa penambahan Mn : polarized light (a); light-field image (b).....	6
Gambar 2.3. Struktur mikro paduan Al-Mg-Si-Cu-Cr-V dengan penambahan Mn : polarized light (a)-(c); light-field image (d)-(f) dan (j)-(l)	7
Gambar 2.4. Grafik perubahan sifat mekanis terhadap penambahan Mn	7
Gambar 2.5. Diagram Fasa Al-Mg	13
Gambar 2.6. Ilustrasi Gas Metal Arc Welding (GMAW).	15
Gambar 2.7. Radiographic Test.....	17
Gambar 2.8. Pengukuran Dimensi Benda Uji Tarik.....	18
Gambar 2.9. Diagram Tegangan-Regangan	19
Gambar 2.10. Hardness Test Methode	21
Gambar 2.11. Sudut Piramida Vickers	23
Gambar 2.12. Pantulan Sinar pada Pengamatan Metalografi	25
Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir	30
Gambar 3.2. Image Processing Struktur Mikro	35
Gambar 3.3. Daerah Pengujian Laju korosi pada Spesimen Uji	36
Gambar 4.1. Bentuk Sambungan pengelasan	40
Gambar 4.2. Hasil Pengelasan GMAW Parameter 1.....	40
Gambar 4.3. Hasil Pengelasan GMAW Parameter 2.....	43
Gambar 4.4. Hasil Pengelasan GMAW Parameter 3.....	43
Gambar 4.5. Hasil Pengelasan GMAW Parameter 1.....	44
Gambar 4.6. Hasil pengujian radiografi pengelasan GMAW material Aluminium 5083 dan 6061 dengan elektroda ER 5356	44
Gambar 4.7. Hasil Pengelasan GMAW Parameter 2.....	45
Gambar 4.8. Hasil pengujian radiografi pengelasan GMAW material Aluminium 5083 dan 6061 dengan elektroda ER 5356 dan ER 5556	45
Gambar 4.9. Hasil Pengelasan GMAW Parameter 3.....	45

Gambar 4.10. Hasil pengujian radiografi pengelasan GMAW material Aluminium 5083 dan 6061 dengan elektroda ER 5556	45
Gambar 4.11. Spesimen Uji Tarik Hasil Pengelasan Elektroda ER 5356	47
Gambar 4.12. Spesimen Uji Tarik Hasil Pengelasan Elektroda Campuran ER 5356 dan ER 5556	48
Gambar 4.13. Spesimen Uji Tarik Hasil Pengelasan Elektroda ER 5556	49
Gambar 4.14. Hasil kekuatan tarik variasi elektroda	49
Gambar 4.15. Hasil Uji Tarik Variasi Elektroda (a), (b), (c). Skala 1:500 N	50
Gambar 4.16. <i>Elongation</i> variasi elektroda	51
Gambar 4.17. Fase Mg_2Si pada Aluminium	53
Gambar 4.18. Foto Makro Pengelasan GMAW Variasi Elektroda ER 5356	53
Gambar 4.19. Foto Makro Pengelasan GMAW Variasi Elektroda ER 5356 dan ER 5556	54
Gambar 4.20. Foto Makro Pengelasan GMAW Variasi Elektroda ER 5556	54
Gambar 4.21. Hasil Struktur Mikro ER 5356	56
Gambar 4.22. Hasil Struktur Mikro ER 5356 & ER 5556	57
Gambar 4.23. Hasil Struktur Mikro ER 5556	58
Gambar 4.24. Presentase $Al_{18}Mg_3Cr_2$, Al_6Mn dan Mg_2Si Variasi Elektroda	59
Gambar 4.25. Titik Pengujian Kekerasan	60
Gambar 4.26. Perbandingan Nilai Tingkat Kekerasan	61
Gambar 4.27. Diagram Tafel Pengelasan 5083 dan 6061 Elektroda ER 5356 ...	64
Gambar 4.28. Diagram Tafel Pengelasan 5083 dan 6061 Elektroda ER 5356 & ER 5556	64
Gambar 4.29. Diagram Tafel Pengelasan 5083 dan 6061 Elektroda ER 5556 ...	65
Gambar 4.30. Prediksi Laju Korosi Variasi Elektroda	67

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Komposisi alumunium seri 5083 (RINA Rules 2017 Part D, Chapter 3, Section 2)	11
Tabel 2.2. Chemical Composition Alumunium 5083 (Aalco Metals Ltd)	11
Tabel 2.3. Chemical Composition Alumunium 6061 (Aalco Metals Ltd)	14
Tabel 2.4 Klasifikasi AWS tentang ukuran elektroda dan arusnya.....	16
Tabel 2.5. Kriteria ketahanan material berdasarkan laju korosi (Fontana, 1986)	28
Tabel 3.1. Rincian Spesimen Pengujian	33
Tabel 3.2. Komposisi Kimia Air Laut Buatan Salinitas 3.5%.....	37
Tabel 4.1. Parameter Pengelasan 1	40
Tabel 4.2. Parameter Pengelasan 2.....	41
Tabel 4.3. Parameter Pengelasan 3.....	43
Tabel 4.4. Hasil Kekuatan Tarik Pengelasan Elektroda ER 5356.....	47
Tabel 4.5. Hasil Kekuatan Tarik Pengelasan Elektroda ER 5356 dan ER 5556..	47
Tabel 4.6. Hasil Kekuatan Tarik Pengelasan Elektroda ER 5556.....	48
Tabel 4.7. Persentase Al18Mg3Cr2, Al6Mn dan Mg ₂ Si	59
Tabel 4.8. Hasil Uji Kekerasan Variasi Elektroda ER 5356	61
Tabel 4.9. Hasil Uji Kekerasan Variasi Elektroda ER 5356 dan ER 5556	61
Tabel 4.10. Hasil Uji Kekerasan Variasi Elektroda ER 5556	61
Tabel 4.11. Output Software NOVA Pengelasan 5083 dan 6061 Elektroda ER 5356.....	63
Tabel 4.12. Output Software NOVA Pengelasan 5083 dan 6061 Elektroda ER 5356 & ER 5556	64
Tabel 4.13. Output Software NOVA Pengelasan 5083 dan 6061 Elektroda ER 5556.....	65
Tabel 4.14. Tingkat Ketahanan Korosi yang Digunakan Pada Penelitian (Fontana, 1987)	66

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Alumunium adalah logam ringan yang memiliki kekuatan yang melebihi mild steel (baja ringan). Alumunium memiliki ductility yang bagus pada kondisi dingin dan daya tahan korosi tinggi. Logam ini dipakai secara luas dalam bidang perkapalan, perpipaan, kimia, listrik, dan alat penyimpanan. Alumunium dan paduannya memiliki sifat mampu las yang kurang baik. Hal ini disebabkan oleh sifat alumunium sendiri seperti konduktivitas panas yang tinggi, koefisien muai besar, reaktif dengan udara membentuk lapisan oksida serta berat jenis dan titik cairnya yang rendah.

Alumunium dikelompokkan berdasarkan paduan penyusunnya. Penambahan paduan ini akan menghasilkan sifat yang berbeda pula. Alumunium merupakan metal paduan yang memiliki sifat tidak dapat diberi perlakuan panas, namun memiliki sifat tahan yang baik terhadap korosi oleh air laut dan sifat mampu las. Material alumunium jenis 5083 dan 6061 banyak digunakan dalam konstruksi umum seperti konstruksi kapal. Material jenis ini banyak dipakai dalam pembuatan kapal cepat seperti kapal patrol dan freigat, alumunium mempunyai berat yang lebih ringan dari baja. Menurut Wiryosumarto (2000) penggunaan teknologi pengelasan seiring dengan perkembangan zaman akhir-akhir ini dalam Teknik pengelasan busur listrik dengan gas mulia menyebabkan pengelasan alumunium dan paduannya menjadi sederhana dan dapat dipercaya, oleh karenanya penggunaan alumunium didalam bidang manufaktur atau industri telah berkembang.

Rosdiansyah (2009) dalam penelitiannya telah mengkaji analisa perbandingan pengelasan Alumunium 5083-5083 dengan Alumunium 5083-6082 yang ditinjau dari adanya defect pengelasan dan perubahan struktur mikronya menggunakan elektroda ER 5356 dengan metoda pengelasan GMAW. Pratama (2009) dalam penelitiannya terkait studi perbandingan antara pengelasan GTAW dan GMAW pada alumunium tipe 5083 ditinjau dari factor teknis dan factor ekonomis yang didapat dari visual test radiography dan fracture toughness.

Sedangkan factor ekonomis meliputi besarnya filler metal yang dikonsumsi tiap posisi pengelasan dan besarnya gas mulia inert gas yang digunakan.

Melalui tugas akhir ini akan dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai perbandingan sifat mekanis dan ketahanan terhadap korosi pada proses pengelasan alumunium 5083 dan 6061. Proses las yang digunakan adalah las GMAW (Gas Metal Arc Welding) dengan gas pelindung Argon HP (High Purity) dan SMAW (Shielded Metal Arc Welding). Dengan demikian diharapkan penelitian ini dapat memberikan informasi mengenai proses pengelasan dan jenis alumunium terhadap sifat mekanis dan ketahanan korosi.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam mengerjakan tugas akhir ini terdapat suatu permasalahan yang harus diselesaikan, yaitu :

1. Bagaimana pengaruh variasi elektroda pada pengelasan alumunium seri 5083 dengan alumunium 6061 terhadap sifat mekanis spesimen hasil las ?
2. Bagaimana pengaruh variasi elektroda pada pengelasan aluminium seri 5083 dengan alumunium 6061 terhadap struktur mikro specimen hasil las ?
3. Bagaimana pengaruh variasi elektroda terhadap prediksi ketahanan korosi pada specimen hasil las Alumunium seri 5083 dengan aluminium 6061 ?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mendapatkan pengaruh variasi elektroda pada pengelasan alumunium seri 5083 dengan aluminium 6061 terhadap sifat mekanik yang berupa nilai kekuatan sambungan.
2. Mendapatkan pengaruh variasi elektroda pada pengelasan alumunium 5083 dengan 6061 terhadap struktur mikro specimen hasil las.

3. Mendapatkan pengaruh variasi elektroda pada pengelasan alumunium 5083 dengan 6061 terhadap prediksi ketahanan korosi specimen hasil las.

1.4 Manfaat

Manfaat dari penelitian Tugas Akhir ini adalah untuk memberikan kontribusi ilmu pengetahuan mengenai bidang produksi khususnya pada pengelasan material alumunium 5083 dan 6061 metode GMAW (Gas Metal Arc Welding) dengan variasi elektroda yang ditandai dengan nilai laju korosi terkecil dan sifat mekanis yang baik. Nilai laju korosi yang kecil menandakan bahwa ketahanan struktur terhadap korosi lebih baik dan memperpanjang umur struktur. Diharapkan dari penelitian ini dapat diketahui metode pengelasan yang tepat untuk material alumunium 5083 dengan 6061.

1.5 Batasan Masalah

1. Material Alumunium tipe 5083 dan 6061.
2. Proses las menggunakan GMAW
3. Elektroda yang dipakai adalah ER 5356 dan ER 5556
4. Gas pelindung yang digunakan adalah Argon High Purity
5. Bentuk bevel ialah single v groove butt joint 60°

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dalam tugas akhir ini, ialah sebagai berikut :

- Bab I Pendahuluan

Dalam bab ini, menjelaskan tentang hal apa saja yang melatarbelakangi sehingga studi ini dilakukan, permasalahan apa yang akan dibahas, tujuan yang ingin dicapai, manfaat yang diperoleh dari studi ini, batasan-batasan masalah yang diterapkan, dan sistematika penulisan yang digunakan dalam tugas akhir ini.

- Bab II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori

Selama proses pengerjaan dan penyelesaian tugas akhir ini, penulis menggunakan dasar-dasar teori, berbagai macam persamaan dan rumus, sehingga dalam bab ini akan dicantumkan hal-hal tersebut sebagai tinjauan pustaka.

- Bab III Metodologi Penelitian

Bab ini lebih menguraikan tentang tahapan-tahapan dan metode yang digunakan untuk mengerjakan tugas akhir ini.

- Bab IV Analisa dan Pembahasan

Pada bab ini membahas bagaimana untuk menyelesaikan permasalahan yang diangkat dalam tugas akhir ini. Selain itu, validasi, analisis, pengolahan, dan pembahasan data hasil dari output percobaan juga akan dibahas pada bab ini.

- Bab V Kesimpulan dan Saran

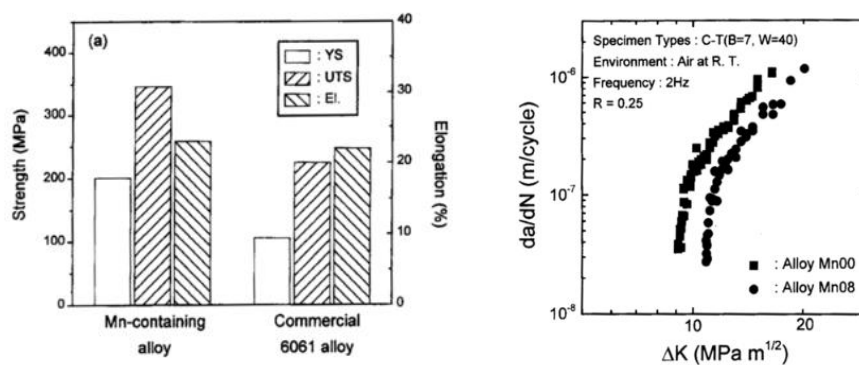
Berisi kesimpulan dari tugas akhir, hasil dari analisis, pembahasan yang dilakukan serta saran-saran yang perlu diberikan untuk penelitian lebih. Bab ini juga untuk menjawab permasalahan yang telah di rumuskan pada Bab I.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Berdasarkan literatur ataupun penelitian sebelumnya dalam lingkup bidang yang relative sama maka pada penelitian tugas akhir ini dilakukan pengamatan mengenai analisis pengaruh variasi elektroda terhadap sifat mekanis dan ketahanan terhadap korosi pada pengelasan aluminium 5083 dengan 6082. Nam dan Lee (2000) dalam penelitiannya menganalisa pengaruh penambahan Mn (mangan) pada aluminium seri 6000 yang telah di ekstrusi dan membandingkanya dengan aluminium seri 6061 terhadap kekuatan dan *fatigue crack propagation* material.



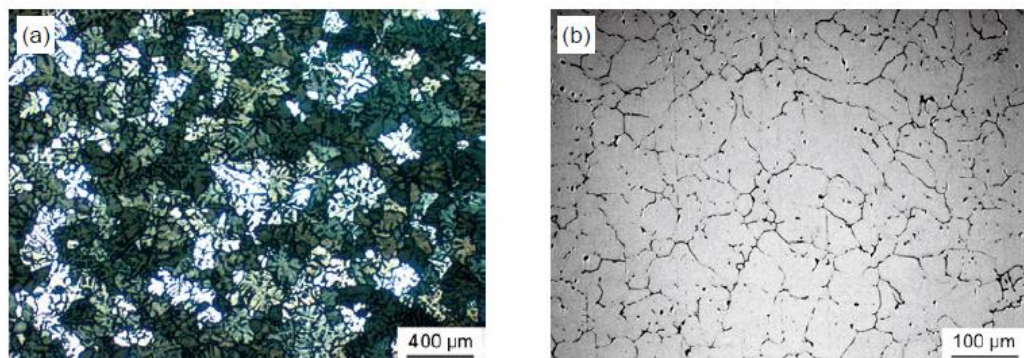
Gambar 2.1. Grafik perbandingan aluminium yang ditambahkan Mn dan Aluminium 6061 (Nam dan Lee, 2000)

Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa aluminium yang ditambahkan Mn (*mangan*) pada saat proses ekstrusi memiliki kekuatan yang lebih signifikan tanpa mengurangi *ductility* material. Selain itu campuran aluminium dengan Mn (*mangan*) menyebabkan laju kelelahan semakin lama dan material semakin kuat dari tegangan berulang yang terjadi.

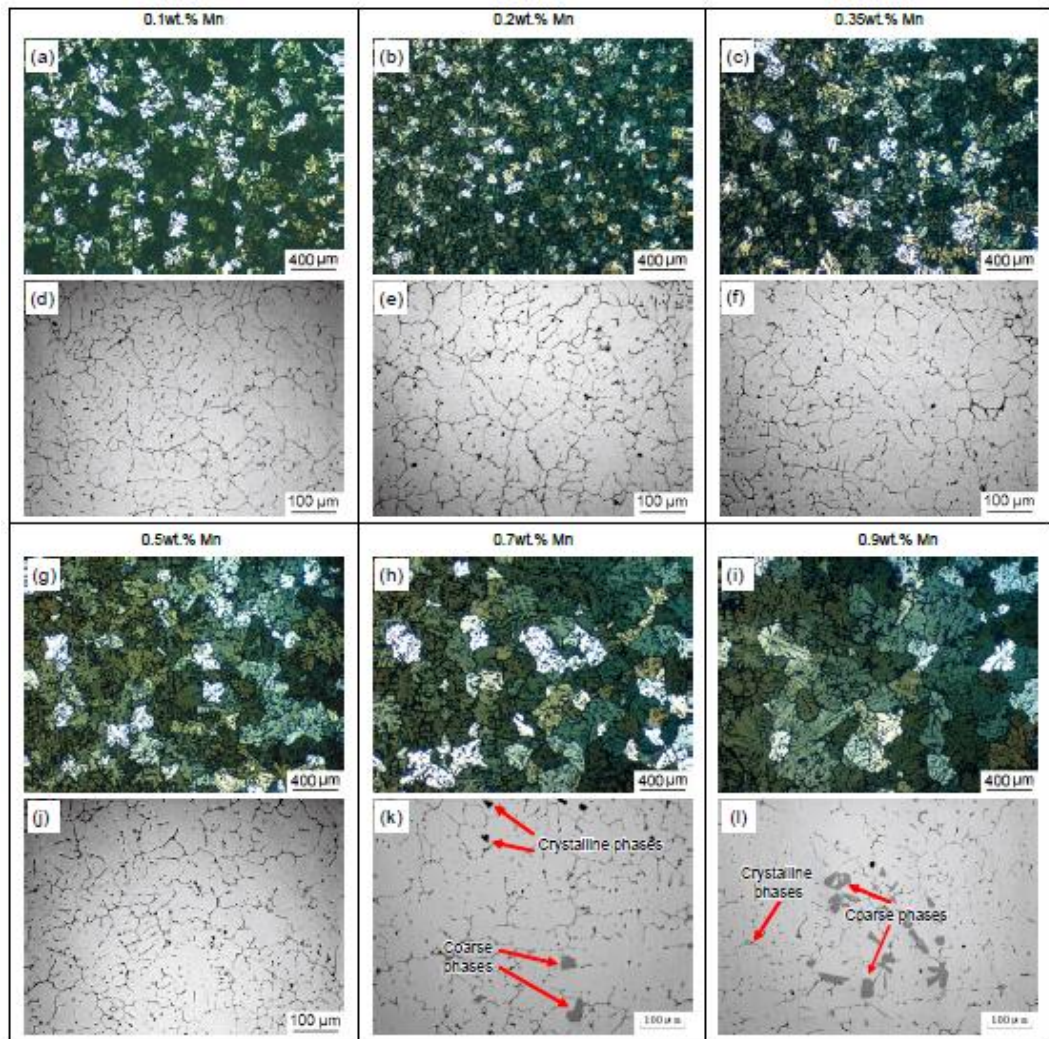
Darsin dkk (2010) mengenai analisa sifat mekanik dan struktur mikro paduan aluminium 5083 akibat pengelasan metal inert gas (MIG)

dengan variasi pre heat dan post heat. Pada penelitian ini menjelaskan mengenai pengelasan MIG pada material aluminium 5083 pengaruhnya apabila diberikan perlakuan panas terhadap sifat mekanik dan struktur mikro, adapun Susetyo (2013) mengenai studi karakteristik hasil pengelasan MIG pada material aluminium 5083 dimana dari hasil penelitiannya diperoleh bahwa untuk setiap variasi kecepatan menghasilkan nilai uji tarik berbeda dan nilai dengan variasi kecepatan terendah memperoleh nilai uji tarik terendah, disamping itu terindikasi adanya cacat pada pengelasan.

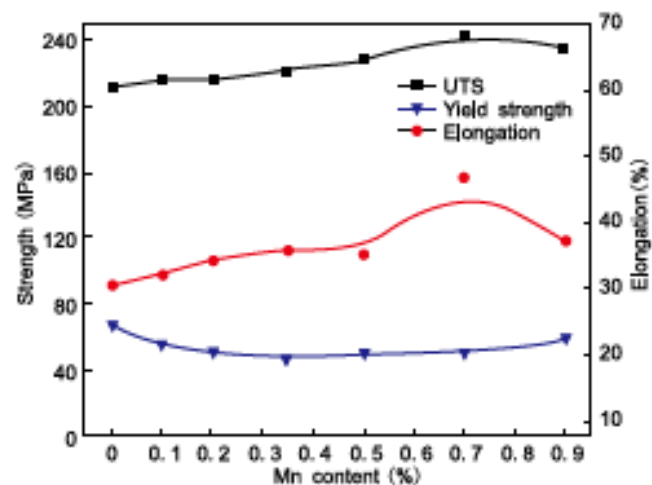
Zhihao, dkk (2012) dalam penelitiannya tentang efek dari Mn (mangan) terhadap struktur mikro dan sifat mekanik paduan Al-Mg-Si-Cu-Cr-V, dengan variasi penambahan Mn sebanyak 0.1, 0.2, 0.35, 0.5, 0.7, dan 0.9. pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa penambahan Mn akan memperkecil struktur butiran pada penambahan Mn hingga 0.2 wt% lalu struktur butiran akan menjadi besar bila penambahan Mn terus dilakukan. Struktur kristal juga bertambah pada penambahan Mn hingga 0.9 wt%, struktur kristal yang terlihat berbentuk plat, lingkaran dan seperti *fishrises*



Gambar 2.2 Struktur mikro paduan Al-Mg-Si-Cu-Cr-V tanpa penambahan Mn : *polarized light (a); light-field image (b)* (Zhihao, dkk 2012)



Gambar 2.3 Struktur mikro paduan Al-Mg-Si-Cu-Cr-V dengan penambahan Mn : *polarized light* (a)-(c); *light-field image* (d)-(f) dan (j)-(l) (Zhihao, dkk 2012)



Gambar 2.4 Grafik perubahan sifat mekanis terhadap penambahan Mn (Zhihao, dkk 2012)

Penelitian ini menyimpulkan bahwa penambahan Mn akan menaikkan kekuatan tanpa mengubah ductility secara signifikan. Pada penambahan Mn sebanyak 0.1 – 0.8 sifat mekanis semakin bagus, namun pada penambahan sebesar 0.9 kekuatan menurun

Evans (1980) dalam penelitiannya tentang efek mangan pada struktur mikro dan sifat pengelasan metal membandingkan tingkat mangan dari 0.6% hingga 1.8%. Mangan dimasukkan pada elektroda pengelasan dan menyebutkan bahwa pertambahan mangan akan menaikkan sifat mekanis dan merapatkan struktur mikro. Namun kadar mangan optimal yang diperoleh dalam penelitiannya ialah 1.42%, lebih dari itu sifat mekanis akan sangat getas dan tidak baik dalam pemakaiannya.

Rosdiansyah (2009) dalam penelitiannya tentang perbandingan pengelasan fillet alumunium 5083-5083 dengan hasil pengelasan alumunium 5083-6082 ditinjau dari adanya defect pengelasan dan perubahan struktur mikronya. Elektroda yang digunakan adalah ER 5356, pada penelitian ini disimpulkan bahwa dari pengujian didapatkan bahwa pengelasan untuk kedua jenis specimen terlihat banyak cacar berupa porositas selain itu terjadi incomplete fusion pada kedua hasil lasan. Pada struktur hasil pengelasan Al 5083-6082 tidak terlihat adanya retak las walaupun adanya perbedaan elongation dari Al 5083-6082. Dari foto mikro didapatkan pada daerah weld metal Al 5083-5083 didominasi oleh peningkatan Mg_2Al_3 sedangkan Al 5083-6082 terjadi peningkatan Mg_2Si yang bersifat menambah kekerasan. Disamping itu untuk Al 5083-6082 terjadi pula peningkatan $FeMn_3SiAl_{12}$ yang bersifat brittle.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Alumunium

Alumunium dan paduan alumunium termasuk logam yang memiliki sifat yang ringan, mempunyai kekautan tinggi, memiliki daya resistensi yang baik terhadap korosi, memiliki *ductility* yang bagus pada kondisi dingin, merupakan konduktor listrik yang cukup baik. Saat ini logam jenis ini sudah digunakan secara luas diberbagai bidang perindustrian seperti

perkapalan, bangunan , dirgantara, kimia, listrik, transportasi dan lainnya. Wiryosumarto (2000) mengklasifikasikan paduan alumunium dalam tiga cara, salah satunya yaitu berdasarkan perlakuan panas dan tidak dapat diperlakukan panas dimana dengan klasifikasi ini alumunium dibagi kedalam tujuh jeniis yaitu : jenis Al murni, jenis Al-Cu, jenis Al-Mn, jenis Al-Si, jenis Al-Mg, Jenis Al-Mg-Si dan jenis Al-Zn. Adapun sifat-sifat jenis alumunium di atas tersebut, adalah sebagai berikut :

1) Jenis Al-Murni (seri 1000)

Alumunium jenis ini merupakan jenis alumunium dengan kemurnian antara 99,0% dan 99,9%. Alumunium seri ini disamping sifatnya tahan karat, konduksi panas dan konduksi listrik juga memiliki sifat mekanik yang memuaskan pada kemampuan lasnya sedangkan kekurangannya adalah kekuatannya yang rendah.

2) Jenis Al-Cu (seri 2000)

Paduan jenis ini adalah jenis yang dapat diperlakukan panas. Dengan melalui pengerasan endap atau penyepuhan dimana sifat mekanik paduan ini dapat menyamai sifat dari baja lunak namun daya tahan terhadap korosinya rendah bila dibandingkan dengan jenis paduan lainnya. Sifat mampu lasnya kurang baik, biasanya paduan jenis ini biasanya digunakan pada konstruksi pesawat terbang.

3) Jenis Al-Mn (seri 3000)

Jenis yang tidak dapat diperlakukan panas sehingga penaikkan kekuatannya hanya dapat diusahakan melalui pengerjaan dingin dalam proses pembuatannya.

4) Jenis Al-Si (seri 4000)

Termasuk jenis yang tidak dapat diperlakukan panas, jenis ini dalam keadaan cair mempunyai sifat mampu alir yang baik dan dalam proses pembekuannya hampir tidak terjadi retak. Karena sifat-sifatnya maka

paduan jenis ini banyak digunakan sebagai bahan atau logam las dalam pengelasan paduan alumunium baik paduan cor maupun paduan tempa.

5) Jenis Al-Mg (seri 5000)

Paduan jenis ini termasuk paduan yang tidak dapat diperlakukan panas tetapi mempunyai sifat yang baik dalam daya tahan korosi, terutama korosi oleh air laut serta sifat mampu lasnya yang baik. Paduan jenis ini banyak digunakan tidak hanya dalam konstruksi umum namun juga untuk tangki-tangki penyimpanan gas alam cair dan oksigen cair.

6) Jenis Al-Mg-Si (seri 6000)

Paduan jenis ini termasuk dalam jenis yang dapat diperlakukan panas dan mempunyai sifat mampu las yang baik dan daya tahan korosinya cukup baik, namun akan terjadi pelunakan pada daerah las sebagai akibat dari panas pengelasan yang timbul.

7) Jenis Al-Zn (seri 7000)

Paduan ini termasuk jenis yang dapat diperlakukan panas, biasanya ke dalam paduan pokok Al-Zn ditambahkan Mg, Cu dan Cr. Kekuatan tarik yang dapat dicapai lebih dari 50 kg/mm², sehingga paduan ini dinamakan juga ultra duralumin. Berlawanan dengan kekuatan tariknya, sifat mampu las dan daya tahannya terhadap korosi kurang baik.

2.2.2 Alumunium Seri 5083

Alumunium seri 5083 memiliki kekuatan lebih tinggi diantara kelompok paduan alumunium non-heat treatable tetapi jenis alumunium ini tidak disarankan untuk digunakan pada temperatur diatas 65°C (Aalco Metals Ltd, 2016). Elemen paduan utama adalah tembaga, silikon, mangan, magnesium, lithium dan seng, elemen seperti nikel, kromium, titanium, zirkonium dan skandium dapat ditambahkan dalam jumlah kecil untuk mencapai sifat tertentu. Unsur lain yang mungkin juga ada dalam jumlah kecil karena kotoran yang tidak diinginkan. Berdasarkan RINA Rules Part

D, Chapter 3, Section 2 komposisi alumunium seri 5083 seperti yang ditunjukkan pada Table 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1. Komposisi alumunium seri 5083 (*RINA Rules 2017 Part D, Chapter 3, Section 2*)

Grade	Chemical composition (%)									
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Other elements	
									Each	Total
5083	0.4	0.4	0.1	0.4 - 1.0	4.0 - 4.9	0.05 - 0.25	0.25	0.15	0.05	0.15

Tabel 2.2. *Chemical Composition* Alumunium 5083 (Aalco Metals Ltd)

Element	%
Magnesium (Mg)	4.00 – 4.90
Manganese (Mn)	0.40 – 1.00
Iron (Fe)	0.40 Typical
Silicon (Si)	0.0 – 0.40
Titanium (Ti)	0.50 – 0.25
Chromium (Cr)	0.05 – 0.25
Copper (Cu)	0.10 Typical
Others (Total)	0.0 – 0.15
Zinc (Zn)	0.0 – 0.10
Other (Each)	0.0 – 0.05

Berdasarkan (*Welding Alumunium & Paduannya, 2002*), berikut paduan elemen utama pada alumunium adalah sebagai berikut :

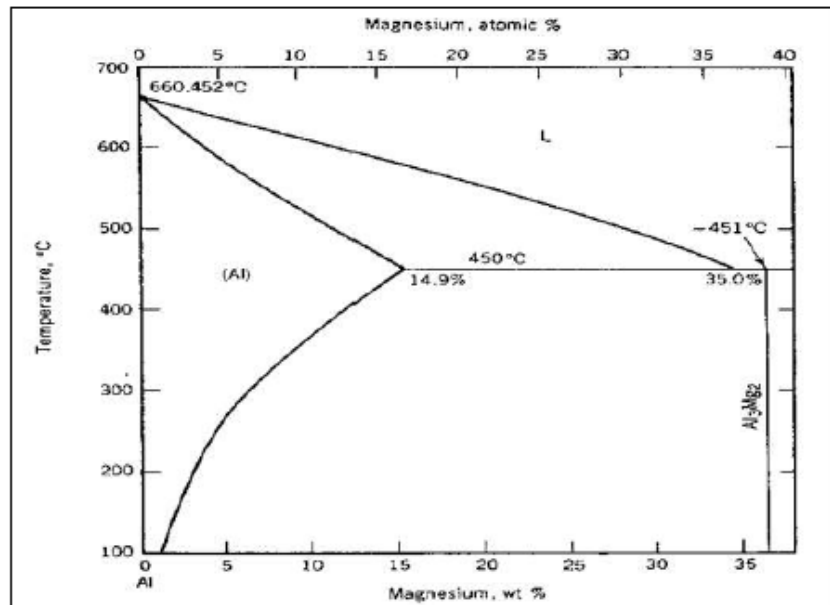
- **Magnesium (Mg)** meningkatkan kekuatan melalui penguatan larutan padat dan meningkatkan kemampuan pengerasan kerja.
- **Mangan (Mn)** meningkatkan kekuatan melalui penguatan larutan padat dan meningkatkan kemampuan pengerasan kerja.

- **Tembaga (Cu)** memberikan peningkatan kekuatan yang substansial, memungkinkan pengendapan penguatan, mengurangi ketahanan korosi, ductility dan kemampuan las.
- **Silikon (Si)** meningkatkan kekuatan dan keuletan, dikombinasikan dengan magnesium menghasilkan penguatan presipitasi.
- **Seng (Zn)** secara substansial meningkatkan kekuatan, memungkinkan penguatan presipitasi, dapat menyebabkan korosi tegangan.
- **Besi (Fe)** meningkatkan kekuatan aluminium murni, umumnya residu elemen.
- **Kromium (Cr)** meningkatkan ketahanan terhadap korosi.
- **Nikel (Ni)** meningkatkan kekuatan suhu tinggi.
- **Titanium (Ti)** digunakan sebagai elemen penyuling butiran, terutama pada logam pengisi (filler metals).
- **Zirkonium (Zr)** digunakan sebagai elemen penyuling butiran, terutama pada logam pengisi (filler metals).
- **Lithium (Li)** secara substansial meningkatkan kekuatan dan modulus Young, memberikan penguatan presipitasi, mengurangi densitas.
- **Scandium (Sc)** secara substansial meningkatkan kekuatan dengan umur penguatan, elemen penghilang terutama pada logam las.
- **Timbal (Pb)** dan **bismut (Bi)** membantu pembentukan chip dengan paduan machining bebas.

Pada aluminium tempa, seri 1xxx digunakan untuk aluminium murni. Digit kedua dari seri tersebut menunjukkan komposisi aluminium dengan limit pengotor alamiahnya, sedangkan dua digit terakhir menunjukkan angka kemurnian dua desimalnya. Contoh pada AA 1170,,Aluminium ini memiliki kemurnian 99,70%.

Digit pertama pada seri 2xxx sampai 7xxx menunjukkan kelompok paduannya berdasarkan unsur yang memiliki persentase komposisi terbesar dalam paduan. Digit kedua menunjukkan modifikasi dari unsur paduannya,

jika digit kedua bernilai 0 maka paduan tersebut murni terdiri dari aluminium dan unsur paduan. Jika nilainya 1 – 9, maka paduan tersebut memiliki modifikasi dengan unsur lainnya. Dua angka terakhir untuk seri 2xxx – 8xxx tidak memiliki arti khusus, hanya untuk membedakan paduan aluminium tersebut dalam kelompoknya.



Gambar 2.5. Diagram Fasa Al-Mg

(Drawn by Dr Joanne Murray – Handbook of Aluminum Vol 1, 2003)

Berdasarkan (ASM Handbook of Metallography and Microstructure, 2004), fase pembentuk Aluminium yang dapat diamati adalah Mg_2Si , $Al_{18}Mg_3Cr_2$, dan Al_6Mn . Bila dikenai larutan etsa maka fase Mg_2Si berwarna kehitaman dengan bentuk seperti huruf china, $Al_{18}Mg_3Cr_2$ berwarna putih keabu-abuan yang terletak merata pada Aluminium karena fase ini adalah fase yang membentuk sebagian besar Aluminium. Sedangkan Al_6Mn berbentuk *polyhedral* dan berwarna abu-abu.

2.2.3 Alumunium Seri 6061

Alumunium seri 6061 adalah seri alumunium dengan kekuatan sedang namum memiliki ketahanan korosi yang bagus. Seri ini merupakan seri alumunium dengan kekuatan yang paling tinggi daripada seri 6000

lainnya. Kandungan mangan yang banyak mengatur struktur butiran sehingga menjadikan alumunium seri ini lebih kuat. Adapun komposisi kimia dari alumunium 6061 adalah seperti berikut :

Tabel 2.3 Chemical Composition Alumunium 6061 (Aalco Metals Ltd)

Elemen	%
Silicon (Si)	0.4 – 0.8
Magnesium (Mg)	0.8 – 1.2
Manganese (Mn)	0.0 – 0.15
Iron (Fe)	0.0 – 0.7
Chromium (Cr)	0.04 – 0.35
Zinc (Zn)	0.0 – 0.25
Titanium (Ti)	0.0 – 0.15
Other	0.0 – 0.15

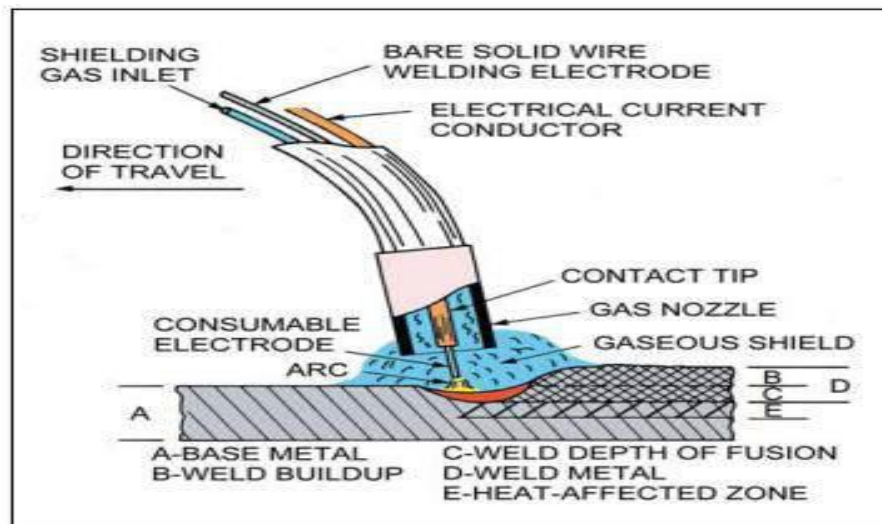
2.2.4 Pengelasan GMAW

Menurut AWS (2001) Gas Metal Arc Welding atau yang sering disebut MIG ialah pengelasan yang melibatkan penggunaan busur logam dan consumable electrode dengan keluaran penambahan gas pelindung. Pengelasan dengan metode ini umumnya dioperasikan secara semiotomatis dimana seiring dengan perkembangan industri konstruksi yang menuntut proses pengelasan yang efisien, cepat, dan berkualitas tinggi tidaklah salah jika proses pengelasan GMAW menjadi alternative yang banyak dipakai.

Dalam Gas Metal Arc Welding, kawat las pengisi yang juga berfungsi sebagai elektroda diumpankan secara terus menerus. Busur listrik terjadi antara kawat pengisi dan logam induk. Skema dari alat las ini ditunjukkan dalam Gambar 2.8. Gas pelindung yang digunakan ialah gas Argon, helium atau campuran dari keduanya. Untuk memantapkan busur kadang-kadang ditambahkan gas O₂ antara 2% sampai 5% atau CO₂ antara 5% sampai 20%.

Penggunaan proses las GMAW sangat menguntungkan. Hal ini disebabkan karena sifat-sifatnya yang baik, misalnya :

- Karena konsentrasi busur yang tinggi, maka busurnya sangat mantap dan percikannya sedikit sehingga memudahkan operasi pengelasan.
- Karena dapat menggunakan arus yang tinggi, maka kecepatannya juga sangat tinggi sehingga efisiensinya sangat baik.
- Terak yang terbentuk cukup banyak.
- Ketangguhan dan elastisitas, kedap udara, ketidak pekaan terhadap retak dan sifat-sifat lainnya lebih baik dari pada yang dihasilkan dengan cara pengelasan lain.



Gambar 2.6. Ilustrasi *Gas Metal Arc Welding* (GMAW).

(AWS Welding Handbook volume 1- 9th Edition, 2001)

2.2.5 Kawat Elektroda

Pada GMAW bentuk kawat elektrode yang digunakan umumnya adalah solid wire dan flux cored wire, penggunaan tipe – tipe tersebut tentu tergantung pada jenis pekerjaannya. Solid Wire digunakan untuk mengelas konstruksi ringan sampai sedang dan dioperasikan pada ruangan yang relative tertutup sehingga gas pelindungnya tidak tertiup oleh angin, adapun Flux Cored Wire banyak digunakan untuk pengelasan konstruksi sedang

sampai berat dan tempat pengelasannya memungkinkan lebih terbuka. Untuk elektroda alumunium, elemen dasar yang digunakan dalam elektroda alumunium adalah magnesium, mangan, seng, silikon dan tembaga. Alasan utama menambahkan elemen-elemen tersebut adalah untuk meningkatkan kekuatan dan logam alumunium murni, selain itu juga sifat *weldability*nya dan resistensi terhadap korosi menjadi alasan penambahan elemen-elemen tersebut. Untuk elektroda alumunium jenis elektroda yang sering digunakan adalah elektroda yang mengandung magnesium 5356 dan mengandung silikon 4043. Tabel di bawah memberikan data jenis bahan dasar yang akan dilas dengan elektroda yang akan diberikan berikut dengan klasifikasi AWS, ukuran elektroda, berikut dengan arus yang akan digunakan.

Tabel 2.4. Klasifikasi AWS tentang ukuran elektroda dan arusnya

Logam Dasar	Elektroda yang Direkomendasi		Spesifikasi AWS	Kisaran arus	
	Type Bahan	Klasifikasi Elektroda		mm	Arus (A)
Aluminium dan Aluminium Paduan	1100 3003, 3004 5052, 5454 5083, 5086, 5456 6061, 6063	ER1100, ER4043 ER1100, ER5356 ER5554, ER5356, ER5183 ER5556, ER5356 ER4043, ER5356	A5.10	0,8 1,2 1,6 2,4 3,2	50 – 175 90 – 250 160 – 350 225 – 400 350 – 475
Magnesium Paduan	AZ10A AZ31B, AZ61A, AZ80A ZE10A ZK21A AZ63A, AZ81A, AZ91C AZ92A, AM100A HK31A, HM21A HM31A LA141A	ERAZ61A, ERAZ92A ERAZ61A, ERAZ92A ERAZ61A, ERAZ92A ERAZ61A, ERAZ92A ERAZ92A ERAZ92A EREZ33A EREZ33A	A5.19	1,0 1,2 1,6 2,4 3,2	150-300 ² 160-320 ² 210-400 ² 320-510 ² 400-600 ²
Tembaga dan Tembaga Paduan	Silikon Perunggu Cu Deoksidasi	ERCuSi-A ERCu	A5.7	0,9	150-300
Nikel dan Nikel Paduan	Paduan Cu-Ni Perunggu Al. Perunggu Phospor Paduan Monel ³ 400 Paduan Inconel ³ 600	ERCuNi ERCuAl-A1, A2 atau A3 ErCuSn-A ERNiCu-7 ERNiCrFe-5	A5.14	1,2 1,6 2,4 0,5 0,8 0,9 1,2 1,6	200-400 250-450 350-550 - - 100-160 150-260 100-400
Titanium dan Titanium Paduan	Murni Ti-0.15 Pd Ti-5Al-2.5Sn	Gunakan grade lebih rendah dari ER Ti-0.2 Pd, ER Ti-5Al-2.5Sn atau murni	A5.16	0,8 0,9 1,2	- - -
Baja Tahan Karat Austenit	201 301, 302, 304, 308 304L 310 316 321 347	ER308 ER308 ER308L ER310 ER316 ER321 ER347	A5.9	0,5 0,6 0,8 0,9 1,2 1,6 2,0 2,4 2,8 3,2	- - 75-150 100-160 140-310 280-450 - - - -
Baja	Baja karbon rol panas atau pembentukan dingin	ER70S-3, ER70S-1 ER70S-2, ER70S-4 ER70S-5, ER70S-6	A5.18	0,5 0,6 0,8 0,9 1,2 1,6 2,0 2,4 2,8 3,2	- - 40-220 60-280 125-380 260-460 275-450 - - -
Baja	Baja karbon yang lebih tinggi dan baja paduan rendah	ER80S-D2	A5.28	0,9 1,2 1,6 2,0 2,4 3,2 4,0	60-280 125-380 275-450 - - - -

Klasifikasi kawat elektroda diatur berdasarkan standar *American Welding Society (AWS)* dan *American Society Testing Material (ASTM)*. Menurut standar AWS penomoran kawat elektroda dengan kode EXXYZ adalah sebagai berikut :

- E : Kawat elektroda untuk las busur listrik.
- XX : Menyatakan nilai tegangan tarik minimum hasil pengelasan dikalikan dengan 1000 Psi (60.000 Ib/in²) atau 42 kg/mm².
- Y : Menyatakan posisi pengelasan, 1 berarti dapat digunakan untuk pengelasan semua posisi.
- Z : Jenis selaput elektroda Rutil-Kalium dan pengelasan arus AC atau DC.

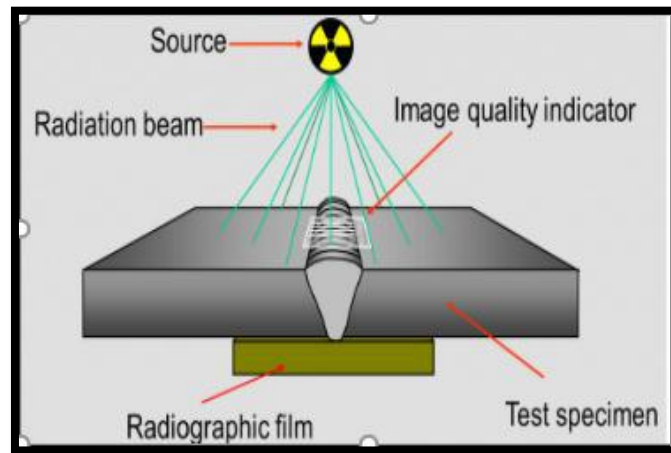
2.2.6 Non Destructive Test

Non-Destructive Test (NDT) adalah metode pengujian material dimana dalam proses pengujian tidak menimbulkan kerusakan pada material atau specimen uji. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui kerusakan pada material seperti retak dan cacat, karena pada hasil pengetesan *Non-Destructive Test* dapat digunakan untuk menggolongkan apakah material masih layak dan aman. Pada konstruksi kapal, sebelum menguji sifat mekanik dari material atau hasil las *Non-Destructive Test* wajib dilakukan (*RINA Rules 2017 Part D, Materials and Welding*)

2.2.7 Radiography Test

Metode radiografi mempunyai daya penetrasi dan penyerapan dari radiasi sinar-x dan sinar gamma, maka radiografi dapat digunakan untuk memeriksa berbagai macam produk antara lain sambungan las, pengecoran, penempaan dan fabrikasi. Metode pengujian las memanfaatkan sinar-x, yang dihasilkan oleh tabung sinar-x, atau sinar gamma, yang dihasilkan oleh isotop radioaktif. Prinsip dasar radiografi untuk inspeksi pengelasan adalah sama dengan radiografi medis (Prasojo, 2012). Pada pengujian RT (*Radiographic Test*) radiasi menembus melalui benda padat, dalam hal ini adalah bagian lasan yang diinspeksi. Radiasi tersebut dipantulkan ke film

fotografi sehingga menghasilkan gambar struktur internal objek yang akan disimpan pada film.



Gambar 2.7. *Radiographic Test* (Callister, 2000)

Kepadatan rendah, seperti retak atau porositas akan muncul sebagai daerah gelap pada film, sedangkan kepadatan tinggi, sebagai tungsten, akan muncul sebagai daerah terang.

Keuntungan radiografi :

- Dapat digunakan semua jenis material
- Dapat mendeteksi defect di permukaan dan subsurface
- Dapat digunakan untuk menginspeksi bentuk yang rumit dan struktur yang berlapis tanpa membongkar komponen
- Preparasi benda uji sederhana.

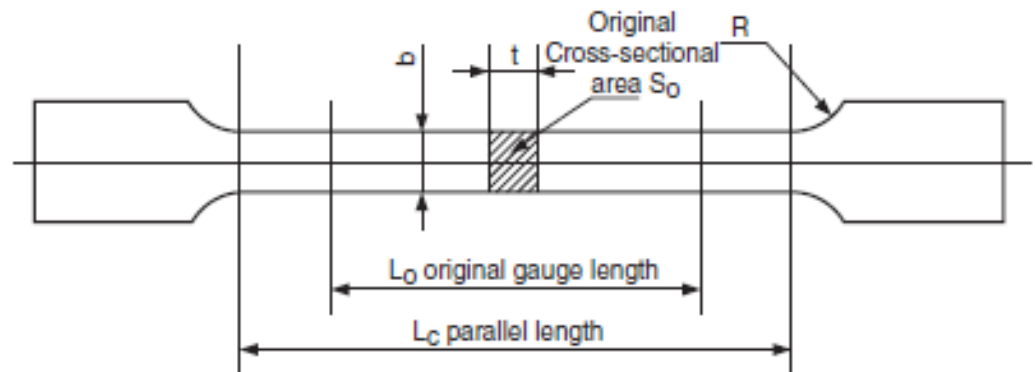
Kekurangan radiografi :

- Dibutuhkan *skill* dan *training* yang tinggi
- Pengujian memerlukan 2 sisi benda
- Arah radiasi pada *defect* sangat mempengaruhi
- Dibutuhkan waktu yang lebih lama untuk material yang tebal
- Peralatan relating mahal
- Dapat menyebabkan radiasi pada teknisi

2.2.8 Pengujian Tarik (*Tension Test*)

Uji tarik dilakukan untuk melihat keuletan suatu material. Dengan menarik suatu bahan kita akan segera mengetahui bagaimana bahan tersebut bereaksi terhadap tenaga tarikan dan mengetahui sejauh mana material itu bertambah panjang. Proses pengujian tarik dilakukan dengan cara memberikan beban aksial secara berkelanjutan/terus-menerus pada benda uji (spesimen) hingga putus.

Proses pembuatan setiap benda uji harus sesuai dengan standar yang diinginkan. Sebelum melakukan pengujian maka dilakukan pengukuran parameter yang merupakan acuan selama pengujian.



Gambar 2.8. Pengukuran Dimensi Benda Uji Tarik (*RINA Rules 2017 Pt D, Ch I, Sec 2*)

t : ketebalan material

b : 25 mm (lebar)

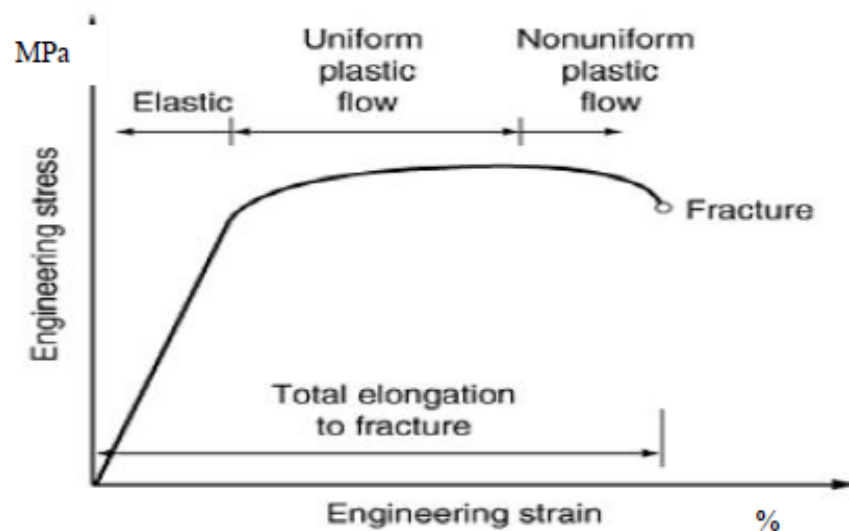
L₀ : $5,65S_0^{1/2}$ dimana S₀ adalah luas penampang specimen asli.

L_c : $L_0 + 2S_0^{1/2}$

R : 25 mm (radius transisi)

Hasil pengujian tarik digambarkan pada sebuah diagram tegangan-regangan seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.16. Diagram ini menunjukkan deformasi yang terjadi pada material yaitu deformasi plastis dan elastis. Disebut deformasi elastis, jika material diberi beban (ditarik) lalu beban dihilangkan akan kembali ke bentuk semula. Sedangkan

deformasi plastis terjadi, jika setelah beban dihilangkan material tidak kembali ke bentuk semula.



Gambar 2.9. Diagram Tegangan-Regangan (ASM, 1991)

Deformasi elastis terjadi hingga titik luluh (*yield point*) setelah itu deformasi yang terjadi pada material adalah plastis hingga akhirnya material tersebut patah (*break point*). Titik luluh jika tidak bisa diperoleh secara jelas pada pengamatan alat pengukur maupun diagram (terutama pada alat yang masih manual) bisa dilakukan dengan melakukan pengukuran offset sebesar 0,2% pada diagram. Titik tegangan maksimum berada pada posisi garis tertinggi dari diagram tersebut. Dari mesin uji tarik nilai tegangan maksimum dan luluh dalam satuan Newton.

Pada perencanaan konstruksi, nilai tegangan luluh ini sangat penting. Karena nilai ini menjadi acuan untuk desain sebuah konstruksi, sehingga beban yang diterima konstruksi tersebut berada di bawah kisaran tegangan luluh material. Jika material tersebut menerima beban melebihi tegangan luluh, maka terjadi deformasi plastis hingga pada akhirnya material tersebut akan mengalami kepecahan. Sifat mekanis (*mechanical properties*) setelah pengujian tarik dapat diketahui dengan cara melakukan perhitungan sesuai rumus berikut:

$$\sigma_{ultimate} = \frac{P_{Ultimate}}{A} \text{ N/mm}^2 \dots\dots\dots(2.1)$$

$$\sigma_{yield} = \frac{P_{yield}}{A} \text{ N/mm}^2 \dots\dots\dots(2.2)$$

$$\varepsilon \text{ (elongation)} = \frac{(L_c - L_o)}{L_o} \% \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana

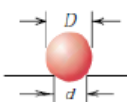

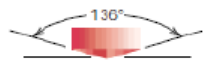

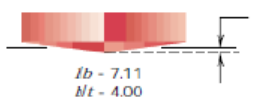
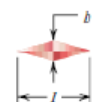
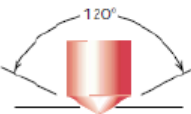
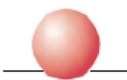


- A_o : Luas penampang awal (mm²)
- L_o : Panjang awal (mm)
- L_c : Panjang setelah putus (mm)
- $P_{ultimate}$: Maximum load (N)
- P_{yield} : Yield Load (N)

2.2.9 Pengujian Kekerasan

Kekerasan (hardness) suatu bahan merupakan sifat mekanik yang penting, karena pengujian ini digunakan untuk menguji homogenitas suatu material. Selain itu kekerasan dapat digunakan untuk mengetahui sifat mekanik yang lain. Uji kekerasan lebih sering digunakan dibandingkan dengan pengujian mekanik lainnya karena :

1. Uji kekerasan sederhana dan relative terjangkau, tidak ada specimen khusus yang dibutuhkan untuk persiapan dan peralatan pengujian cenderung murah.
2. Pengujiannya tidak menghasilkan kerusakan berlebih, specimen yang digunakan tidak mengalami retak atau deformasi yang berlebihan, deformasi biasanya hanya lekukan kecil.
3. Sifat mekanik yang lain lebih sering diestimasi dengan nilai kekerasan seperti kuat tarik (tensile strength).

Kekerasan biasanya dapat dinyatakan dalam tiga skala yaitu Brinell, Rockwell, atau Vickers. Perbedaan utama dari ketiga skala ini adalah pada beban dan indentor yang digunakan dalam pengukurannya. Masing-masing skala ini mempunyai kelebihan dimana Vickers hanya butuh satu setup pengujian untuk semua material, Rockwell akan memberikan kesalahan operator yang lebih kecil karena tidak perlu mikroskop, sedangkan Brinell dapat dengan mudah dikonversikan kedalam kekuatan ultimate-nya.

Test	Indenter	Shape of Indentation		Load	Formula for Hardness Number ^a
		Side View	Top View		
Brinell	10-mm sphere of steel or tungsten carbide			P	$HB = \frac{2P}{\pi D [D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$
Vickers microhardness	Diamond pyramid			P	$HV = 1.854P/d_1^2$
Knoop microhardness	Diamond pyramid			P	$HK = 14.2P/l^2$
Rockwell and Superficial Rockwell	{ Diamond cone $\frac{1}{16}, \frac{1}{8}, \frac{1}{4}, \frac{1}{2}$ in. diameter steel spheres	 	 	60 kg } 100 kg } Rockwell 150 kg } 15 kg } 30 kg } Superficial Rockwell 45 kg }	

Gambar 2.10. *Hardness Test Methode* (Callister, 2000)

2.2.10 Pengujian Kekerasan Brinnell

Pengujian kekerasan dengan metode Brinnel bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap bola baja (identor) yang ditekan pada permukaan material uji tersebut (spesimen). Idealnya, pengujian Brinnel diperuntukan untuk material yang memiliki permukaan yang kasar dengan uji kekuatan berkisar 500-3000 kgf. Identor (bola baja) biasanya telah dikeraskan dan diplating ataupun terbuat dari bahan Karbida Tungsten.

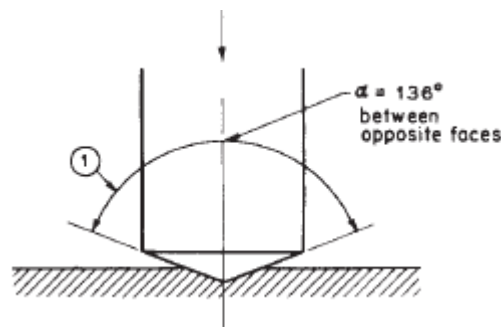
2.2.11 Pengujian Kekerasan Rockwell

Pengujian kekerasan dengan metode Rockwell bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap indenter berupa bola baja ataupun kerucut intan yang ditekan pada permukaan material uji tersebut. Indenter berupa bola baja yang dikeraskan dengan diameter 1/16, 1/8, 1/4, dan 1/2 inci. (1.588, 3.175, 6.350,

dan 12.70 mm) dan penekan berupa kerucut intan (Brale) yang biasa digunakan untuk material yang dikeraskan. Dengan system ini, nilai kekerasan material ditentukan dengan perbedaan kedalaman penetrasi hasil dari pemberian beban minor awal diikuti dengan beban major yang lebih besar; penggunaan beban minor menambah tingkat akurasi.

2.2.12 Pengujian Kekerasan Vickers

Uji kekerasan Vickers menggunakan indenter berbentuk piramida intan dengan berbentuk dasar bujur sangkar dengan besar sudut 136° terhadap kedua sisi yang berhadapan. Besar sudut itu digunakan karena merupakan perkiraan rasio terideal indentasi diameter bola uji brinell. Besar beban indenter bervariasi antara 1 kg sampai 120 kg yang disesuaikan dengan tingkat kekerasan material specimen. Uji kekerasan Vickers sesuai dengan standar ASTM E92.



Gambar 2.11. Sudut piramida Vickers.

Prinsip dari uji kekerasan Vickers :

$$VHN = \frac{2p \sin(\frac{\alpha}{2})}{d^2} = \frac{(1.854)p}{d^2} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana,

P = Beban (kg)

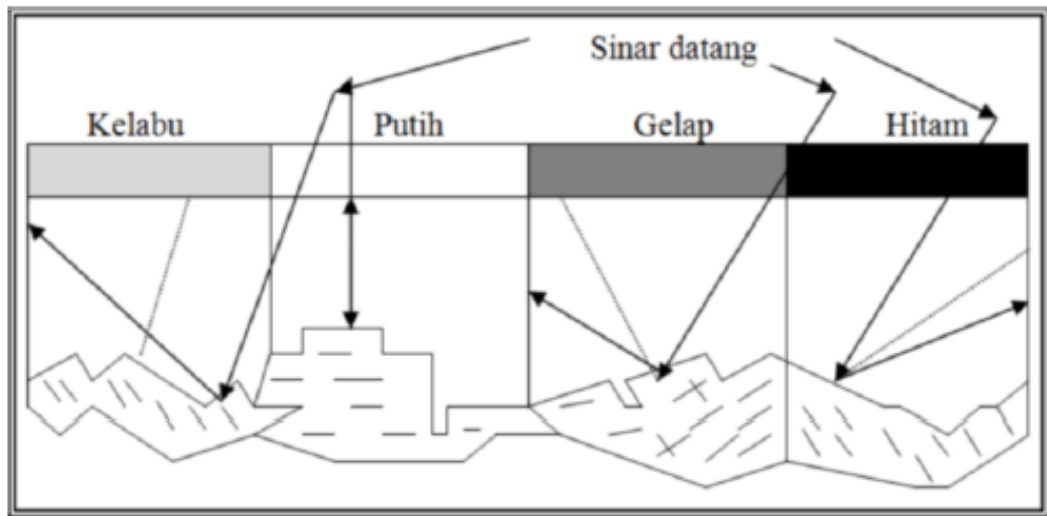
d = Panjang diagonal rata-rata (mm)

α = Sudut piramida 136°

2.2.13 Pengujian Metalografi

Metalografi merupakan disiplin ilmu yang mempelajari karakteristik mikrostruktur suatu logam dan paduannya serta hubungannya dengan sifat-sifat logam dan paduannya tersebut. Ada beberapa metode yang dipakai yaitu: mikroskop (optik maupun elektron), difraksi (sinar-X, elektron dan neutron), analisis (X-ray fluorescence, elektron mikroprobe) dan juga stereometrics metalografi. Pada praktikum metalografi ini digunakan metode mikroskop, sehingga pemahaman akan cara kerja mikroskop, baik optik maupun electron perlu diketahui. Pengamatan metalografi pada dasarnya adalah melihat perbedaan intensitas sinar pantul permukaan logam yang dimasukkan ke dalam mikroskop sehingga terjadi gambar yang berbeda (gelap, agak terang, terang).

Secara umum prinsip kerja mikroskop optik adalah sinar datang yang berasal dari sumber cahaya melewati lensa kondenser, lalu sinar datang itu menuju glass plane yang akan memantulkan sinar datang itu menuju spesimen. Sebelum mencapai spesimen sinar datang itu melewati beberapa lensa pembesar. Kemudian sinar datang tersebut sebagian akan dipantulkan kembali, sedangkan sebagian lagi akan menyimpang akibat mengenai permukaan yang telah terkorosi pada saat pengetsaan. Sinar datang yang dipantulkan kembali ke mikroskop optik akan diteruskan ke lensa okuler sehingga dapat diamati.



Gambar 2.12. Pantulan Sinar pada Pengamatan Metalografi
(Widharto, 2007).

Pengamatan metalografi dengan mikroskop umumnya dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Metalografi makro, yaitu pengamatan struktur dengan perbesaran 10–100 kali.
2. Metalografi mikro, yaitu pengamatan struktur dengan perbesaran diatas 100–500 kali.

Pengujian makro (makroscope test) ialah proses pengujian bahan yang menggunakan mata terbuka dengan tujuan dapat memeriksa celah dan lubang dalam permukaan bahan. Angka kevalidan pengujian makro berkisar antara 0,5 sampai 50 kali. Pengujian cara demikian biasanya digunakan untuk bahan-bahan yang memiliki struktur kristal yang tergolong besar atau kasar. Misalnya, logam hasil coran (tuangan) dan bahan yang termasuk non-metal (bukan logam).

Pengujian mikro adalah suatu pengujian mengenai struktur bahan melalui pembesaran dengan menggunakan mikroskop khusus metalografi

Pengujian mikro adalah suatu pengujian mengenai struktur bahan melalui pembesaran dengan menggunakan mikroskop khusus metalografi. Dengan pengujian mikro struktur dapat mengamati bentuk dan ukuran kristal logam, kerusakan logam akibat proses deformasi, proses perlakuan panas, dan perbedaan komposisi. Sebelum dilakukan pengamatan metalografi, spesimen uji terlebih dahulu dilakukan preparasi dengan beberapa tahapan. Tahapan yang harus dilalui adalah pemotongan spesimen, grinding, polishing, etsa, pembersihan dan pengeringan. Proses grinding dan polishing merupakan proses yang penting untuk membuat permukaan sampel menjadi benar-benar halus agar dapat dilakukan pengujian. Pada proses ini biasa digunakan sebuah mesin poles yang memiliki komponen utama berupa motor penggerak, piringan logam, dan keran air. Pada pengujian kali ini digunakan sebuah motor penggerak berupa motor listrik yang akan berfungsi sebagai penggerak dua piringan logam.

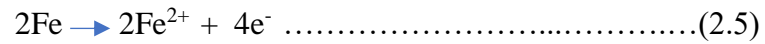
2.2.14 Korosi

Korosi adalah proses degradasi mutu suatu material, baik logam maupun nonlogam akibat pengaruh lingkungan sekitarnya (Trethewey, 1991). Korosi juga dapat didefinisikan sebagai proses kembalinya suatu material ke dalam bentuk senyawa awalnya secara alamiah. Berdasarkan teori kimia, pada suatu peristiwa korosi akan disertai oleh reaksi oksidasi dan reaksi reduksi atau biasa disebut sebagai reaksi redoks. Pada sistem korosi, akan ada material yang bertindak sebagai anoda dan ada juga yang bertindak sebagai katoda. Pada anoda akan terjadi reaksi oksidasi yakni reaksi pelepasan elektron atau pengikatan ion oksigen. Sedangkan pada katoda akan terjadi reaksi reduksi yakni reaksi pengikatan elektron atau pelepasan ion oksigen. Sehingga dapat disimpulkan bahwa setidaknya terdapat empat elemen utama sebagai syarat terjadinya korosi, yakni :

1. Terdapat material yang bertindak sebagai anoda.

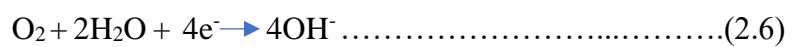
Pada anoda akan terjadi reaksi anodik yang berupa reaksi oksidasi dengan melepaskan elektron-elektron dari atom logam netral untuk membentuk ion positif. Sehingga anoda

merupakan bagian yang terurai atau terkorosi. Sebagai contoh, reaksi oksidasi pada logam dapat digambarkan dalam persamaan reaksi sebagai berikut :



2. Terdapat material yang bertindak sebagai katoda.

Pada katoda akan terjadi reaksi katodik yang berupa reaksi reduksi dengan mengkonsumsi electron yang dihasilkan dari reaksi anodic. Sebagai contoh, reaksi reduksi dapat digambarkan dalam persamaan reaksi sebagai berikut :



3. Adanya hubungan (metallic pathway), dimana arus mengalir dari katoda ke anoda, sedangkan electron mengalir dari arah sebaliknya.
4. Larutan elektrolit sebagai media korosif yang dapat mengalirkan arus.

2.2.15 Laju Korosi

Laju korosi adalah suatu parameter yang menunjukkan tingkat penetrasi korosi yang terjadi pada suatu material. Laju korosi adalah parameter yang sering digunakan pada pengujian korosi dikarenakan sangat berpengaruh terhadap nilai ekonomis dan teknis material. Terdapat dua metode untuk menghitung laju korosi, yakni dengan metode kehilangan berat (weight loss) dan dengan metode elektrolisis.

Pada metode kehilangan berat, berat mula-mula material sebelum terjadi korosi dihitung dan kemudian dikurangi berat material setelah terjadi korosi. Sehingga selisih dari kedua nilai tersebut merupakan berat material yang hilang dan terurai akibat adanya korosi. Sedangkan pada metode elektrolisis, laju korosi dihitung dengan bantuan sel elektrokimia yang dalam penelitian ini menggunakan jenis sel tiga elektroda. Sel elektrokimia ini akan memberikan potensial pada material uji sehingga akan terjadi korosi akibat adanya reaksi katodik dan anodic. Kelebihan dari metode ini adalah tidak dibutuhkannya waktu yang lama untuk mengetahui laju korosi

dikarenakan nilai tersebut akan langsung diketahui pada saat pengujian dilakukan. Nilai laju korosi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Faraday sebagai berikut :

$$CPR = \frac{k a i}{n D} mmpy \dots \dots \dots (2.7)$$

dengan :

- CPR = Laju korosi (mmpy)
- k = Konstanta (k = 0.00327 untuk satuan mmpy)
- a = Berat atom logam terkorosi (gram)
- i = Kerapatan arus ($\mu A/cm^2$)
- D = Densitas logam terkorosi ($gram/cm^3$)
- n = Jumlah electron valensi logam terkorosi

Semakin kecil nilai laju korosi suatu material, sifat ketahanan korosinya semakin baik. Menurut Fontana (1986), ketahanan korosi material dapat diklasifikasikan berdasarkan nilai laju korosinya sebagai berikut :

Tabel 2.5 Kriteria ketahanan material berdasarkan laju korosi (Fontana, 1986)

Relative Corrosion Resistance	mpy	mm/yr
Outstanding	< 1	< 0.02
Excellent	1-5	0.02 – 0.1
Good	5	0.1 – 0.5
Fair	20-50	0.5 -1
Poor	50-200	1- 5
Unacceptable	200+	5+

2.2.16 Sel Tiga Elektroda

Sel tiga elektroda merupakan perangkat laboratorium baku yang berfungsi untuk melakukan pengujian korosi pada suatu material berdasarkan metode elektrolisis. Konfigurasi sel tiga elektroda tersebut terdiri dari beberapa komponen sebagai berikut :

- a. Elektroda kerja (*working electrode*), yakni elektroda yang diteliti atau benda uji (*anoda*) yang dicelupkan pada fluida kerja.
- b. Elektroda bantu (*auxiliary electrode*), yakni elektroda yang berfungsi untuk memberikan potensial pada elektroda kerja serta untuk mengangkut arus listrik yang timbul akibat reaksi kimia.
- c. Elektroda acuan (*reference electrode*), yakni elektroda yang berfungsi sebagai pembanding potensial yang diberikan pada elektroda kerja serta potensial yang diberikan pada elektroda bantu. Arus yang mengalir pada elektroda acuan ini diusahakan sekecil mungkin sehingga dapat diabaikan.
- d. Larutan Elektrolit (*electrolyte solution*), berfungsi sebagai penghantar arus ionik dalam reaksi korosi. Oleh karena itu, persiapan larutan elektrolit harus dilakukan dengan cermat. Volume larutan elektrolit yang dibutuhkan adalah sebanyak 1 liter.

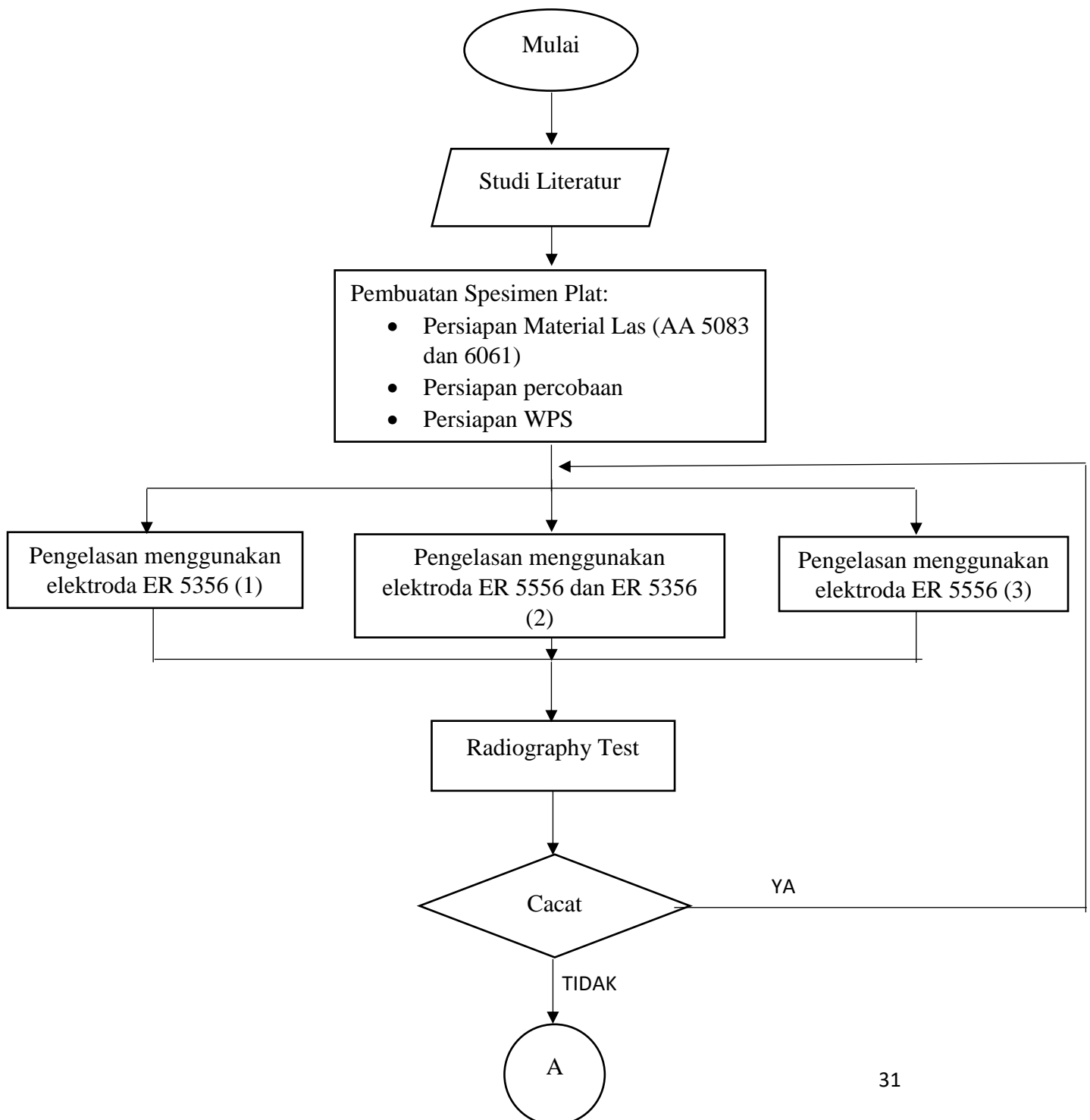
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

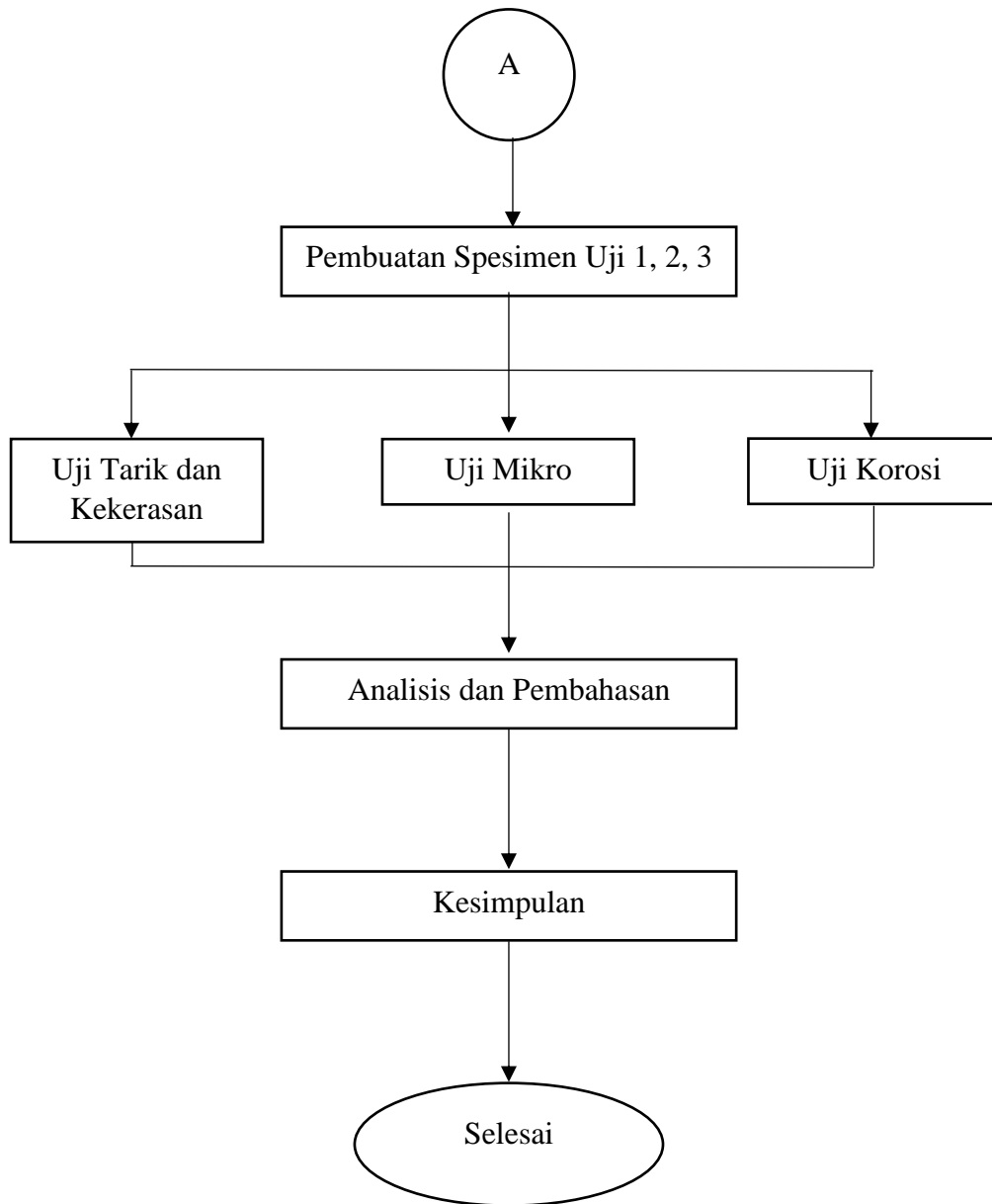
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metodologi yang digunakan dalam tugas akhir ini ialah seperti pada Gambar 3.1





Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

3.2 Prosedur Penelitian

Langkah-langkah penelitian pengerjaan tugas akhir dapat dijelaskan sebagai berikut

3.2.1 Studi Literatur

Dalam penyusunan tugas akhir ini langkah pertama ialah mengumpulkan literatur-literatur untuk dijadikan sebagai referensi tugas akhir, adapun literatur tersebut diperoleh dari :

- Tugas akhir
- Jurnal
- Internet
- Buku yang relevan

3.2.2 Persiapan

Material Las

Pada tugas akhir ini material yang akan diuji adalah alumunium seri 5083 dan 6061. Spesimen uji dibuat berbentuk segi empat dengan ukuran dan tipe sebagai berikut :

- Tipe : Alumunium seri 5083 dan 6061
- Panjang : 300 mm
- Lebar : 150 mm
- Tebal : 6 mm
- Kampuh : *Single V Groove*

Adapun jumlah spesimen uji sebanyak 16 spesimen dengan rincian untuk setiap variasi memiliki spesimen uji tarik 3 batang, uji mikro dan makro masing-masing satu spesimen, uji kekerasan masing-masing satu spesimen, dan prediksi laju korosi masing-masing satu spesimen. Tabel 3.1 ini menunjukkan rincian spesimen untuk pengujian.

Tabel 3.1 Rincian Spesimen Pengujian

Pengujian	ER 5356 (1)	Multipass ER 5356-ER 5556 (2)	ER 5556 (3)
Uji Tarik A			
Uji Tarik B			
Uji Tarik C			
Uji Makro dan Mikro			
Uji Kekerasan			
Prediksi Laju Korosi			

3.2.3 Pengelasan GMAW

Pengelasan ini bertujuan untuk menggabungkan dua buah plat sehingga membentuk specimen yang akan diuji, pengelasan mengacu pada *Welding Procedure Specification* (WPS). Parameter utama dalam pengelasan ini adalah sebagai berikut:

- Volt : 22 Volt
- Arus : 150 A
- Elektrode : ER 5356 dan ER 5556
- Gas Pelindung : Argon High Purity

Langkah kerja pengelasan GMAW adalah sebagai berikut:

- a. siapkan peralatan GMAW dan alat-alat bantu
- b. siapkan dua buah bahan yang akan di las yang telah *dibevel* dan di *root face*
- c. Atur besar arus, *voltage* dan *gas flow* sesuai yang diperlukan atau WPS
- d. Atur dan posisikan kembali benda kerja sesuai dengan posisi las yang diinginkan dalam hal ini posisi 1G kemudian lakukan pengelasan root

- e. Setelah itu lakukan pengelasan lajur kedua (filler) dengan sedikit ayunan (zig-zag)
- f. Lakukan pengelasan lajur ketiga (capping), namun terlebih dahulu girnda permukaan jalur las hingga sisa antara 0,5 – 1 mm untuk menghasilkan capping yang rata dan seimbang. Las capping dengan lebar maksimum 2 mm dari pinggir kampuh las
- g. Bersihkan dan dinginkan benda kerja

3.2.4 Non Destructive Test (NDT)

Setelah proses pengelasan dilakukan inspeksi atau pengujian. Pengujian secara Non Destructive Test (NDT) dengan menggunakan Radiographic Testing yang berpedoman kepada AWS D1.2.

3.2.5 Pembuatan Spesimen Uji

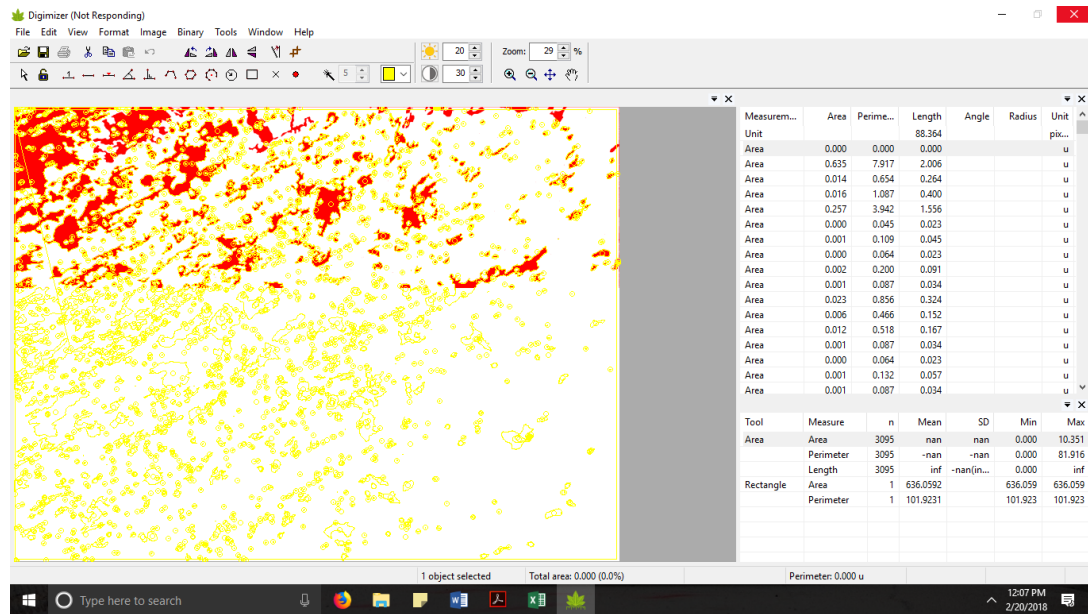
- Spesimen Uji Tarik

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan nilai dari kekuatan tarik dari material yang diuji, Hasil uji tarik akan menampilkan hubungan antara tegangan dan regangan.

- Spesimen Uji Mikro

Pengujian ini dimaksudkan untuk melihat bagaimana permukaan hasil lasan secara mikro, dilakukan dengan menggunakan mikroskop optis. Spesimen yang digunakan untuk pengeamatan struktur mikro sama dengan spesimen yang digunakan untuk uji kekerasan, dalam pengamatan mikro ini digunakan pembesaran 100x dan 500x. Daerah yang diamati yaitu logam induk (*Base Metal*), HAZ dan logam lasan (*Weld Metal*).

Perhitungan persentase struktur mikro dengan menggunakan metode image processing, dengan bantuan software *digitimizer*. Software ini akan memproses gambar melalui warna dan bentuk yang telah ditetapkan pada *setting*, sehingga perbedaan fase yang terlihat dari perbedaan warna dan bentuk pada foto hasil mikroskop akan dapat dihitung secara akurat. (**lihat Gambar 3.2**) di bawah.



Gambar 3.2. Image Processing Struktur Mikro

Berikut cara untuk menentukan persentase struktur mikro adalah :

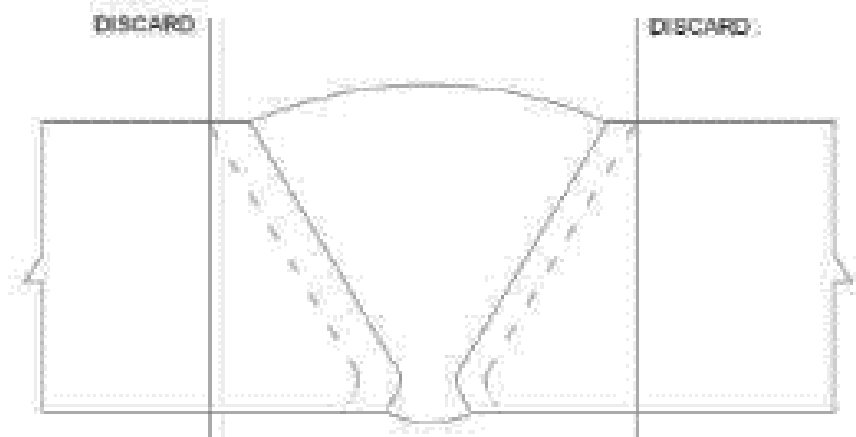
1. Mengatur skala pada gambar hasil foto mikroskop.
2. Membuat gambar menjadi hitam putih.
3. Mengatur *threshold* untuk mendapatkan warna dan bentuk yang akan dihitung.
4. Memilih daerah yang akan dihitung, software *digitimizer* akan menghitung luasan daerah yang dipilih.
5. Membagi hasil luasan yang dipilih dengan luasan total pada gambar hasil mikroskop.

- **Spesimen Uji Korosi**

Pengujian korosi dilakukan dengan metode elektrolisis menggunakan alat sel tiga elektroda. Pengujian korosi ini mengacu pada standar ASTM G102 – Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurements dengan kualifikasi ukuran spesimen sebesar 40 mm x 10 mm X 12 mm.

Pada pengujian korosi dengan metode elektrokimia, adapun langkah-langkah yang dilakukan sebagai berikut:

1. Mempersiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan seperti: spesimen uji, elektroda acuan (Ag/AgCl), elektroda pembantu (Pt), larutan elektrolit NaCl 3,5%, dan alat uji potensiostat sel tiga elektroda.
2. Spesimen uji yang digunakan merupakan spesimen dengan ukuran 40x10x12 mm. Pengujian korosi difokuskan pada daerah sambungan las dimana terjadi percampuran antara elektroda dan logam induk yang mempengaruhi perubahan elektropotensial dan laju korosinya.



Gambar 3.3. Daerah Pengujian Laju korosi pada Spesimen Uji

3. Persiapan larutan elektrolit yang berupa larutan pengganti air laut dengan salinitas 3,5% sesuai dengan standar ASTM D1141-90. Komposisi kimia dalam pembuatan air laut buatan dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3.2 Komposisi Kimia Air Laut Buatan Salinitas 3.5%

Compound	Konsentrasi, g/L
NaCl	24.53
MgCl ₂	5.2
Na ₂ SO ₄	4.09
CaCl ₂	1.16
KCl	0.695
NaHCO ₃	0.2
KBr	0.101
H ₃ BO ₃	0.027
SrCl ₂	0.025
NaF	0.003
Ba(NO ₃) ₂	0.0000994
Mn(NO ₂) ₂	0.000034
Cu(NO ₃) ₂	0.0000308
Zn(NO ₃) ₂	0.0000096
Pb(NO ₃) ₂	0.0000066
AgNO ₃	0.00000049

4. Spesimen uji, elektroda acuan, dan elektroda pembantu dipasang pada tabung uji menggunakan tang penjepit, masing-masing elektroda diatur agar tidak saling bersentuhan.
5. Potensiostat yang berfungsi sebagai sumber potensial diatur pada rentang -500 mV sampai dengan +500 mV.
6. Secara otomatis, *software NOVA 1.8* yang terintegrasi dengan alat uji akan menampilkan grafik tafel yang terbentuk secara bertahap ketika nilai potensial dari spesimen uji ditemukan.
7. Setelah grafik tafel terbentuk, maka data-data mengenai spesimen uji seperti massa jenis (g/cm^3), berat atom logam (g/mol), serta luas permukaan spesimen uji (cm^2) diinputkan pada *software NOVA 1.8* untuk dapat menghitung laju korosinya.
8. Parameter-parameter yang dibutuhkan untuk mengetahui besarnya laju korosi pada spesimen seperti kuat arus korosi dan beda potensial korosi dapat diketahui dengan melakukan pengeplotan pada grafik tafel.

3.2.6 Analisa dan Pembahasan

Dari hasil pengujian-pengujian yang dilakukan maka dapat dilakukan analisa dan pembahasan sesuai dengan standard atau code yang digunakan, sehingga dari hasil analisa dapat menjawab permasalahan yang dirumuskan.

3.2.7 Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini, hasil analisa dan pembahasan kemudian dapat ditarik suatu kesimpulan yang sesuai dengan perumusan, analisa dan pembahasan dalam penelitian ini serta tak lupa saran untuk penelitian selanjutnya sebagai penyempurnaan penelitian ini.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Welding Procedure Specification (WPS)

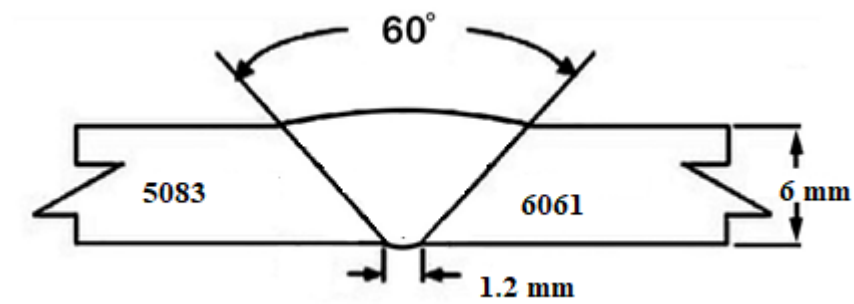
Pengelasan dilakukan pada material aluminium seri 5083 dengan 6061 yang mempunyai dimensi Panjang 150 mm, lebar 150 mm, dan ketebalan 6 mm. Proses pengelasan dilakukan sesuai dengan *Welding Procedure Specification* (WPS). Seluruh sampel dilas dengan metode dan parameter yang berbeda.

4.1.1 *Welding Procedure Specification (WPS) Pengelasan GMAW Antara Aluminium 5083 dan 6061 dengan Elektroda ER 5356*

Berdasarkan *Welding Procedures Specification* (WPS) pengelasan GMAW pada material aluminium seri 5083 dan 6061 digunakan elektroda ER 5356 diameter 1.2 mm dengan rata-rata arus sebesar 150 A, tegangan sebesar 22 V, *travel speed* 25.5 detik, polaritas DCEP (*Direct Current Electrode Positive*), dan 3 layer pengelasan.

Parameter 1 :

- Proses pengelasan : GMAW (*Gas Metal Arc Welding*)
- Desain sambungan : *Butt joint single groove* 60°
- Base metals : Aluminium 5083 dan 6061
- Filler metal : ER 5356, diameter 1.2 mm
- Posisi : 1 G
- Gas pelindung : Argon *High Purity* 99.999%
- Technique : *String* atau *Weave*
- Welder : Rahmad (PPNS)



Gambar 4.1 Bentuk Sambungan pengelasan

Tabel 4.1 Parameter Pengelasan 1

Weld Layer(s)	Process	Filler metal		Current		Volt Range V	Travel Speed mm/min
		Class	Ø, mm	Type Polarity	Amp. Range		
1	GMAW	ER 5356	1.2	DCEP	150	22	26
2	GMAW	ER 5356	1.2	DCEP	150	22	26
3	GMAW	ER 5356	1.2	DCEP	150	22	26



Gambar 4.2 Hasil Pengelasan GMAW Parameter 1

4.1.2 *Welding Procedure Specification (WPS) Pengelasan GMAW Antara Aluminium 5083 dan 6082 dengan Elektroda ER 5356 dan 5556*

Berdasarkan *Welding Procedures Specification (WPS)* pengelasan GMAW pada material aluminium seri 5083 dan 6061 digunakan elektroda ER 5356 dan 5556 diameter 1.2 mm dengan rata-rata arus sebesar 150 A, tegangan sebesar 22 V, *travel speed* 25.5 detik, polaritas DCEP (*Direct Current Electrode Positive*), dan 3 layer pengelasan.

Parameter 2 :

- Proses pengelasan : GMAW (*Gas Metal Arc Welding*)
- Desain sambungan : *Butt joint single groove 60°*
- Base metals : Aluminium 5083 dan 6061
- Filler metal : ER 5356 dan ER 5556, diameter 1.2 mm
- Posisi : 1 G
- Gas pelindung : Argon *High Purity* 99.999%
- Technique : *String* atau *Weave*
- Welder : Rahmad (PPNS)

Tabel 4.2 Parameter Pengelasan 2

<i>Weld Layer(s)</i>	<i>Process</i>	<i>Filler metal</i>		<i>Current</i>		<i>Volt Range</i> V	<i>Travel Speed</i> mm/min
		<i>Class</i>	<i>Ø, mm</i>	<i>Type Polarity</i>	<i>Amp. Range</i>		
1	GMAW	ER 5556	1.2	DCEP	150	22	24
2	GMAW	ER 5356	1.2	DCEP	150	22	28
3	GMAW	ER 5556	1.2	DCEP	150	22	26



Gambar 4.3 Hasil Pengelasan GMAW Parameter 2

4.1.3 *Welding Procedure Specification (WPS)* Pengelasan GMAW Antara Aluminium 5083 dan 6082 dengan Elektroda ER 5556

Berdasarkan *Welding Procedures Specification (WPS)* pengelasan GMAW pada material aluminium seri 5083 dan 6061 digunakan elektroda ER 5556 diameter 1.2 mm dengan rata-rata arus sebesar 150 A, tegangan sebesar 22 V, *travel speed* 25.5 detik, polaritas DCEP (*Direct Current Electrode Positive*), dan 3 layer pengelasan.

Parameter 1 :

- Proses pengelasan : GMAW (*Gas Metal Arc Welding*)
- Desain sambungan : *Butt joint single groove 60°*
- Base metals : Aluminium 5083 dan 6061
- Filler metal : ER 5556, diameter 1.2 mm
- Posisi : 1 G
- Gas pelindung : Argon *High Purity* 99.999%

- Technique : *String* atau *Weave*
- Welder : Rahmad (PPNS)

Tabel 4.3 Parameter Pengelasan 3

<i>Weld Layer(s)</i>	<i>Process</i>	<i>Filler metal</i>		<i>Current</i>		<i>Volt Range</i> V	<i>Travel Speed</i> mm/min
		<i>Class</i>	<i>Ø, mm</i>	<i>Type Polarity</i>	<i>Amp. Range</i>		
1	GMAW	ER 5556	1.2	DCEP	150	22	22
2	GMAW	ER 5556	1.2	DCEP	150	22	25
3	GMAW	ER 5556	1.2	DCEP	150	22	27



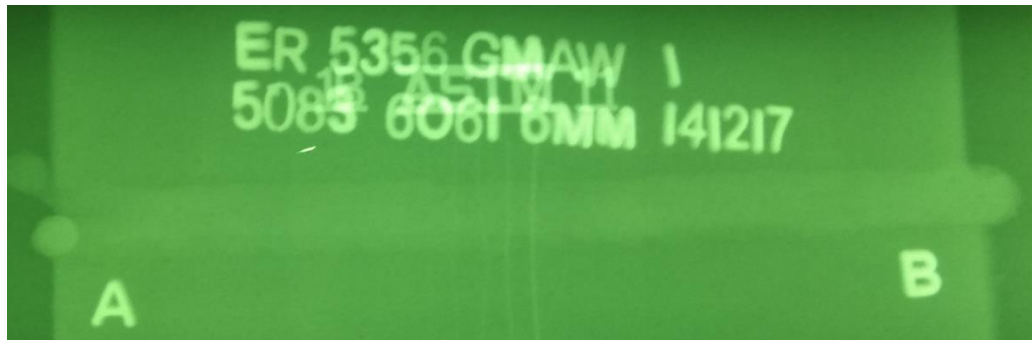
Gambar 4.4 Hasil Pengelasan GMAW Parameter 3

4.2 Hasil *Non-Destructive Test (Radiography Test)*

Pengujian radiografi dilakukan dengan memaparkan sinar radiasi yang dihasilkan oleh sinar X ataupun sinar gamma pada specimen uji untuk mendeteksi adanya *crack*, cacat, maupun dikontinyuitas. Inspeksi dilakukan di PT. Robutech Surabaya yang beralamat di Semolowaru Selatan V no 25. Surabaya. Berdasarkan pengujian radiografi yang telah dilakukan maka didapatkan hasil sebagai berikut :



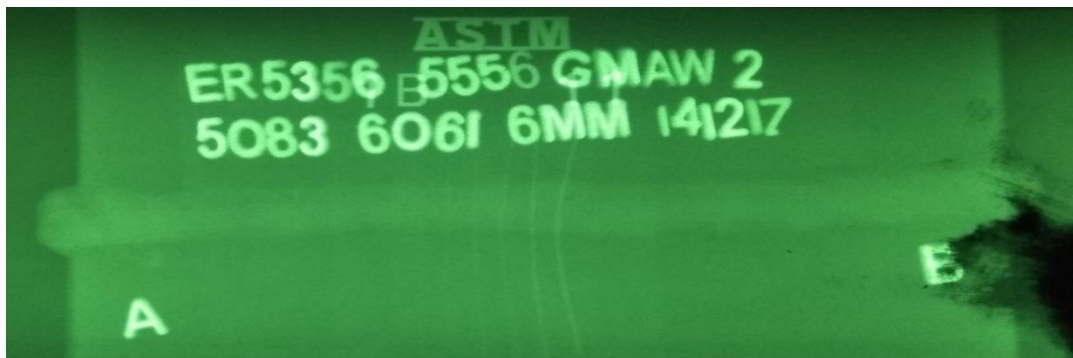
Gambar 4.5 Hasil Pengelasan GMAW Parameter 1



Gambar 4.6 Hasil pengujian radiografi pengelasan GMAW material Aluminium 5083 dan 6061 dengan elektroda ER 5356



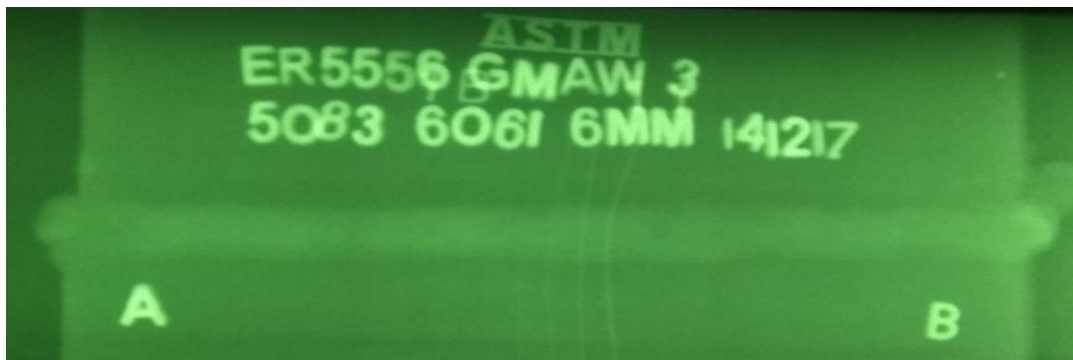
Gambar 4.7 Hasil Pengelasan GMAW Parameter 2



Gambar 4.8 Hasil pengujian radiografi pengelasan GMAW material Aluminium 5083 dan 6061 dengan elektroda ER 5356 dan ER 5556



Gambar 4.9 Hasil Pengelasan GMAW Parameter 3



Gambar 4.10 Hasil pengujian radiografi pengelasan GMAW material Aluminium 5083 dan 6061 dengan elektroda ER 5556

Berdasarkan hasil pengujian tidak merusak dengan metode *radiography test*, pada specimen pengelasan GMAW pada material Aluminium 5083 dan 6061 menggunakan elektroda ER 5356 tidak ditemukan cacat las seperti *undercut*, *slag inclusion*, maupun *porosity*. Cacat las *undercut* yakni istilah yang digunakan untuk menggambarkan alur kerja benda yang berada di tepi las yang tidak terisi oleh logam las. *Slag inclusion* adalah cacat las yang disebabkan adanya udara atau slag yang terjebak di dalam logam las. Porosity adalah cacat las yang disebabkan gelembung udara yang terjebak di dalam logam las pada saat pemadatan cepat. Pada pengelasan GMAW pada material Aluminium 5083 dan 6061 menggunakan elektroda ER 5356 dan 5556 juga tidak ditemukan cacat las. Sedangkan pada pengelasan GMAW pada material Aluminium 5083 dan 6061 menggunakan elektroda ER 5556 juga tidak ditemukan cacat las. Pada specimen pengelasan yang telah diuji radiografi tersebut nantinya akan diambil sesuai dengan dimensi pada standard untuk digunakan sebagai specimen pengujian selanjutnya.

4.3 Pengujian Kekuatan Tarik

Pengujian kekuatan tarik dilaksanakan di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK-ITS Surabaya. Pengujian tarik dilaksanakan untuk mendapatkan kekuatan bahan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan. Pengujian tarik mengukur ketahanan material terhadap gaya statis yang diberikan secara perlahan. Rules yang digunakan adalah *RINA Rules (Pt D, Ch 1, Sec 2) Materials and Welding*.

4.3.1 Kekuatan Tarik Pengelasan Menggunakan Elektroda ER 5356

Pada pengelasan menggunakan elektroda ER 5356 dengan ukuran lebar x ketebalan daerah uji material 25.6 x 6 mm didapat luasan permukaan uji sebesar 157 mm². Nilai rata-rata *Yield Force* (F_y), *Ultimate Force* (F_u), dan *Elongation* didapatkan berturut-turut 172.12 MPa, 196.13 MPa, dan 6.73%. *Breaking point* yang terjadi pada pengelasan ini terjadi di daerah *weld metal* dan *base metal* specimen uji.

Tabel 4.4. Hasil Kekuatan Tarik Pengelasan
Elektroda ER 5356

Code	Sample Specification			Tensile Test Result			
	Width (mm)	Thick (mm)	C S A (mm ²)	F _y (MPa)	F _u (MPa)	Breaking	Elongation
1.1	25.6	6.13	156.928	143.38	167.27	Weld Metal	6.63%
1.2	24.8	6.12	151.776	171.01	194.04	Base Metal	6.78%
1.3	25.2	6.1	153.72	173.22	198.21	Base Metal	6.67%
Rata - Rata				172.115	196.125	Base Metal	6.73%



Gambar 4.11 Spesimen Uji Tarik Hasil Pengelasan Elektroda ER 5356

4.3.2 Kekuatan Tarik Pengelasan Menggunakan Elektroda ER 5356 dan ER 5556

Pada pengelasan menggunakan elektroda ER 5356 dan ER 5556 dengan ukuran lebar x ketebalan daerah uji material 25.3 x 6.2 mm didapat luasan permukaan uji sebesar 156.86 mm². Nilai rata-rata *Yield Force* (F_y), *Ultimate Force* (F_u), dan *Elongation* didapatkan berturut-turut 186.58 MPa dan 200.94 MPa, dan 4.81%. *Breaking point* yang terjadi pada pengelasan ini terjadi di daerah *base metal* spesimen uji.

Tabel 4.5. Hasil Kekuatan Tarik Pengelasan
Elektroda ER 5356 dan ER 5556

Code	Sample Specification			Tensile Test Result			
	Width (mm)	Thick (mm)	C S A (mm ²)	F _y (MPa)	F _u (MPa)	Breaking	Elongation
2.1	25.3	6.2	156.86	149.82	162.56	Weld Metal	3.33%
2.2	25.17	6.1	153.537	185.62	200.27	Base Metal	4.70%
2.3	25.09	6.1	153.049	187.54	201.61	Base Metal	4.92%
Rata - Rata				186.58	200.94	Base Metal	4.81%



Gambar 4.12 Spesimen Uji Tarik Hasil Pengelasan Elektroda Campuran ER 5356 dan ER 5556

4.3.3 Kekuatan Tarik Pengelasan Menggunakan Elektroda ER 5556

Pada pengelasan menggunakan elektroda ER 5556 dengan ukuran lebar x ketebalan daerah uji material 25.03 x 6.2 mm didapat luasan permukaan uji sebesar 194.72 mm². Nilai rata- rata *Yield Force* (F_y), *Ultimate Force* (F_u), dan *Elongation* didapatkan berturut-turut 196.68 MPa, 203.46 MPa, dan 3.76%. *Breaking point* yang terjadi pada pengelasan ini terjadi didaerah *base metal* spesimen uji.

Tabel 4.6. Hasil Kekuatan Tarik Pengelasan Elektroda ER 5556

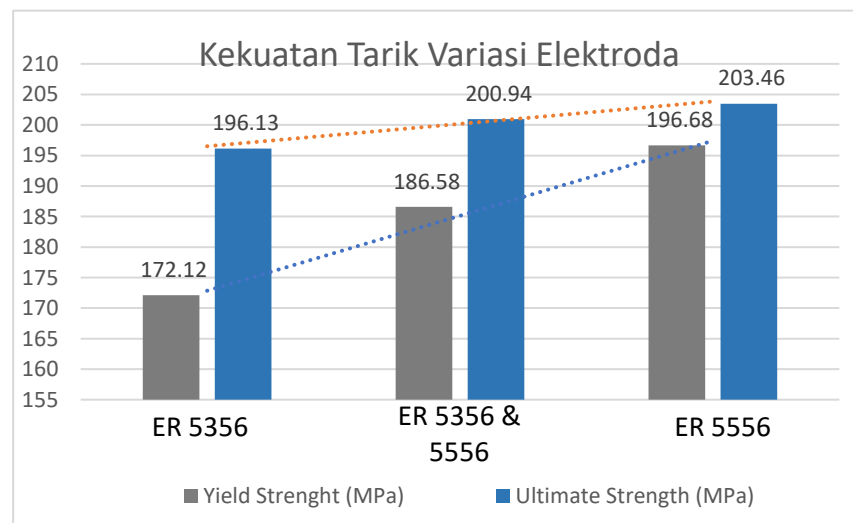
Code	Sample Specification			Tensile Test Result			
	Width (mm)	Thick (mm)	C S A (mm ²)	F _y (MPa)	F _u (MPa)	Breaking	Elongation
3.1	25.03	5.95	148.929	194.72	201.94	Base Metal	3.33%
3.2	25.16	6.2	155.992	197.51	205.66	Base Metal	3.76%
3.3	25.19	6.05	152.4	197.8	202.78	Base Metal	4.20%
Rata - Rata				196.6766667	203.46	Base Metal	3.76%



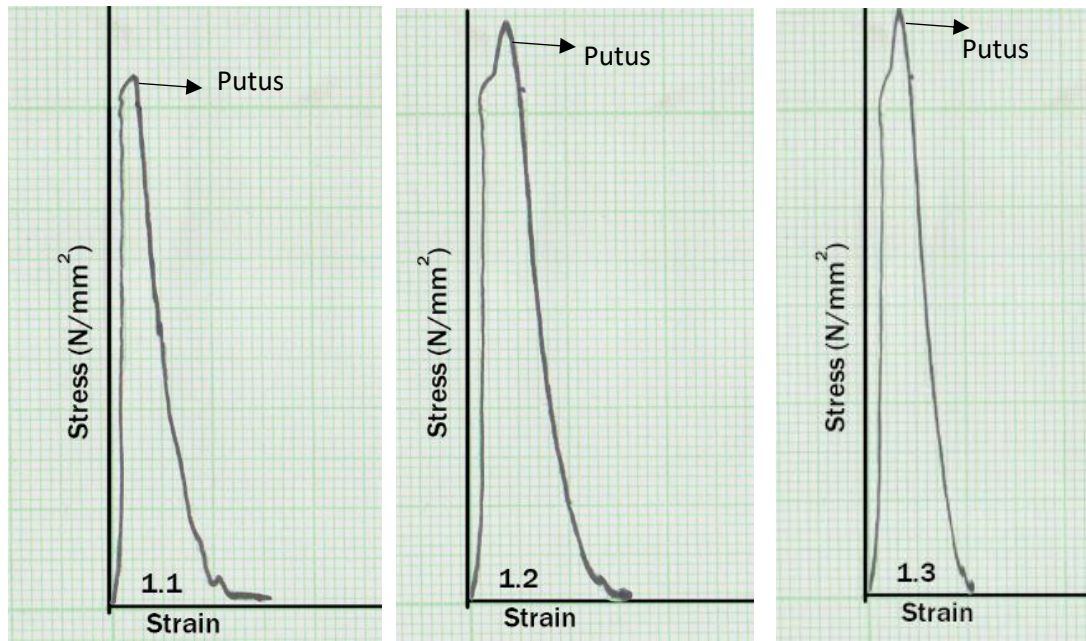
Gambar 4.13 Spesimen Uji Tarik Hasil Pengelasan Elektroda ER 5556

4.3.4 Analisis Hasil Pengujian Kekuatan Tarik

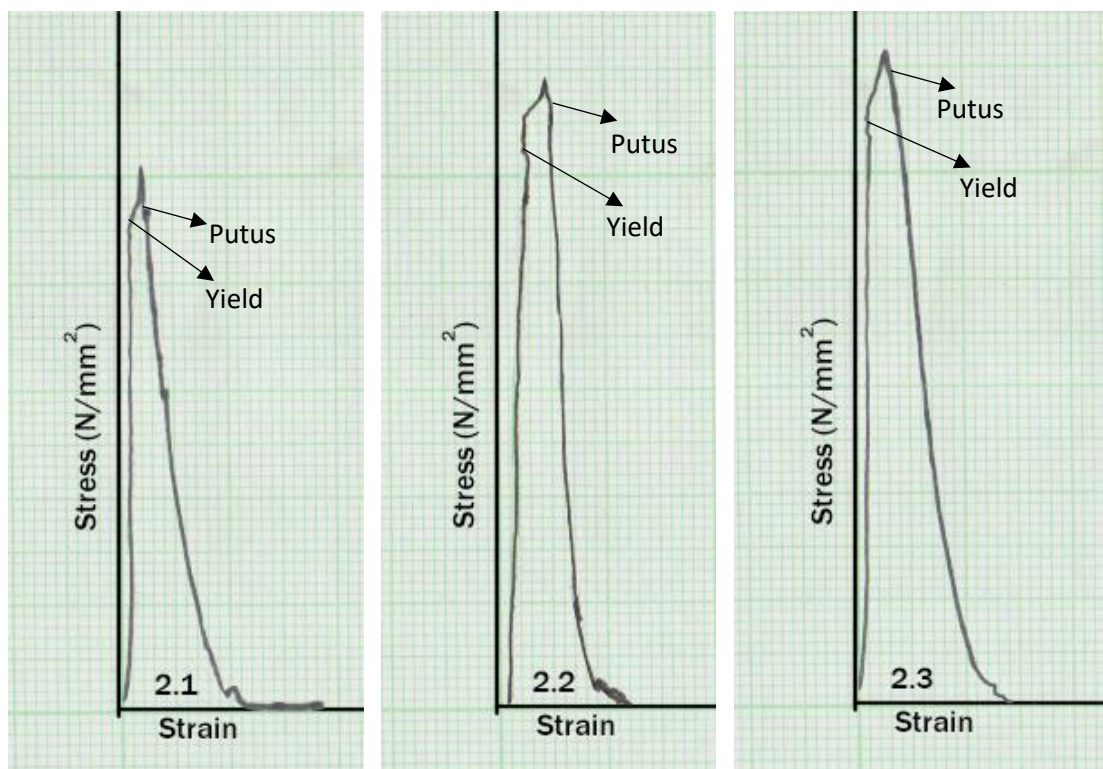
Berdasarkan data hasil pengujian tarik dari tiga parameter yang diuji didapatkan hubungan yang linear antara variasi elektroda terhadap kekuatan (*yield strength* dan *ultimate strength*), ditunjukkan oleh grafik dibawah ini.



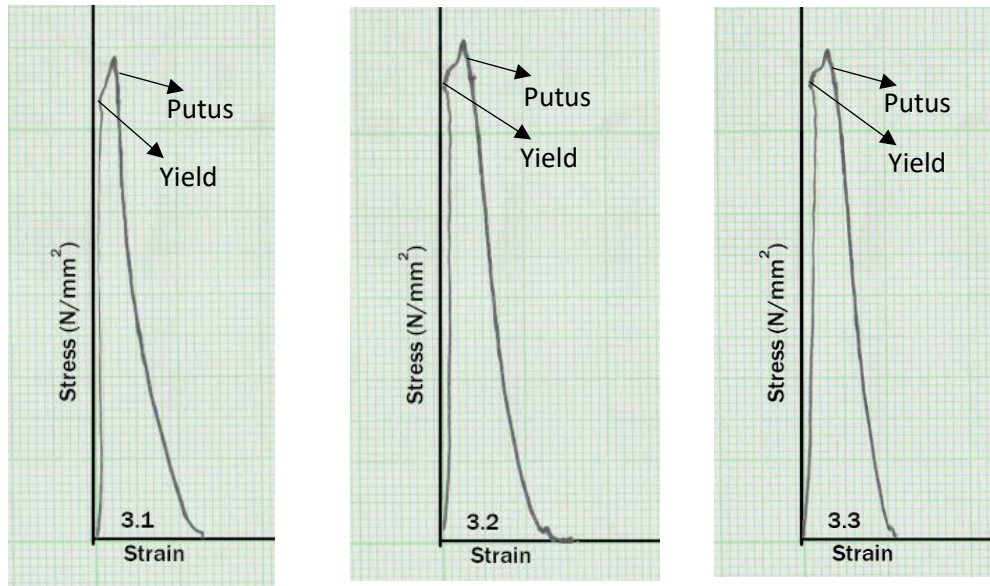
Gambar 4.14 Hasil kekuatan tarik variasi elektroda



(a) Hasil Uji Tarik Hasil Las dengan ER 5356

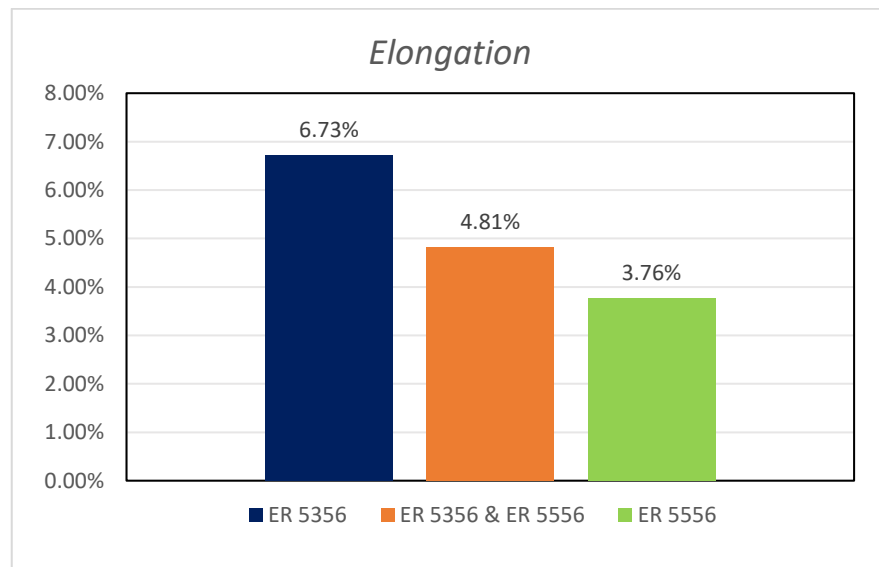


(b) Hasil Uji Tarik Hasil Las dengan Campuran ER 5356 dan ER 5556



(c) Hasil Uji Tarik Hasil Las dengan ER 5556

Gambar 4.15 Hasil Uji Tarik Variasi Elektroda (a), (b), (c). Skala 1:500 N



Gambar 4.16 Elongation variasi elektroda

Berdasarkan gambar 4.14 ditarik kesimpulan bahwa dengan menggunakan elektroda yang memiliki kandungan *mangan* lebih banyak (ER 5556), *yield strength* dan *ultimate strength* bertambah secara linear. Kekuatan terbesar dimiliki oleh pengelasan menggunakan elektroda 5556 dengan *yield strength* dan *ultimate strength* berturut turut 196.68 MPa dan 203.46 Mpa,

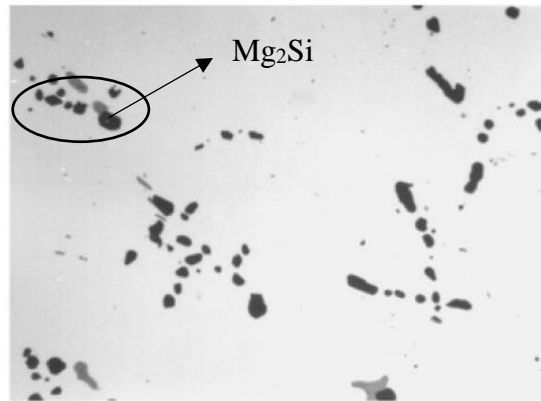
sedangkan pengelasan menggunakan elektroda ER 5356 menghasilkan *yield strength* dan *ultimate strength* terendah yaitu 172.12 MPa dan 196.13 MPa. Skala yang digunakan pada diagram tegangan-regangan yang dibuat oleh mesin tarik tersebut ialah 1:500 N, dimana 1 mm pada millimeter blok menunjukkan 500 N. Untuk mengetahui nilai kekuatan *yield* dan *ultimate*, tegangan dibagi dengan luas permukaan specimen.

Berdasarkan gambar **4.16** ditarik kesimpulan bahwa semakin banyak kandungan *mangan* pada elektroda yang digunakan untuk pengelasan menyebabkan menurunnya *elongation* sehingga mengakibatkan menurunnya sifat keuletan material. *Elongation* terbesar dimiliki oleh pengelasan dengan elektroda ER 5356 dan terkecil dimiliki oleh pengelasan dengan elektroda ER 5556.

4.4 Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi dilaksanakan di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK-ITS. Foto Struktur makro dilakukan dengan pembesaran 7x menggunakan DSLR. Pengujian makro merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui daerah–daerah dari hasil proses pengelasan, seperti pada daerah HAZ (*Heat Affected Zone*), *Fusion Line*, dan *Weld Metal*. Sedangkan pengujian mikro merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui bentuk dan perubahan suatu struktur mikro akibat perubahan fase dalam hal ini struktur mikro pengelasan. Pada pengamatan struktur mikro pembesaran yang dilakukan ialah pembesaran 400x. Sebelum dilakukan pengamatan makro dan mikro, pemolesan pada specimen uji dilakukan. Pemolesan menggunakan kertas amplas dengan grit 80, 120, 200, 400, 600, 800, 1000, 1500, dan 2000 yang dibasahi air. Pembasahan dengan air merupakan *treatment* agar specimen uji tidak teroksidasi. Kemudian dipoles menggunakan campuran alumina dan air agar semakin mengkilap. Setelah proses pemolesan selesai, tahap selanjutnya ialah tahap etsa, proses pembuatan larutan kimia yang nantinya akan dibalurkan pada material yang akan diamati. Larutan yang dipakai untuk etsa Aluminium 5083 dan 6061

adalah larutan yang terdiri dari : 4mL HF, 10mL HNO₃, 6mL HCl, 100mL H₂O (*ASM Handbook Vol 9. Metallography and Microstructures*). Fungsi larutan ini adalah untuk mengikis permukaan material yang akan diamati agar jelas.

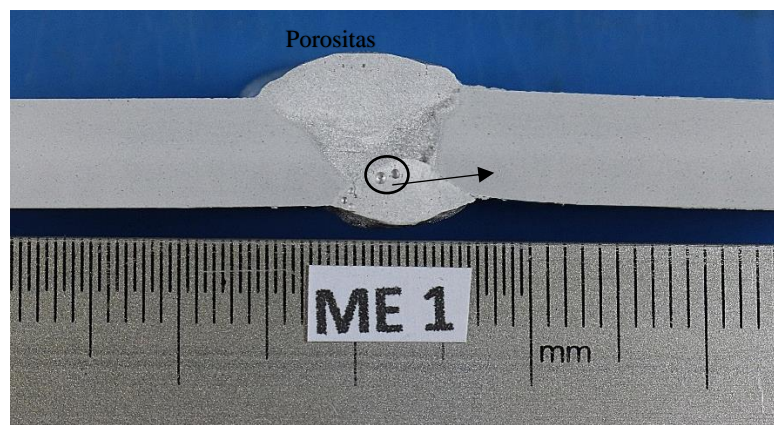


Gambar 4.17 Fase Mg₂Si pada Aluminium

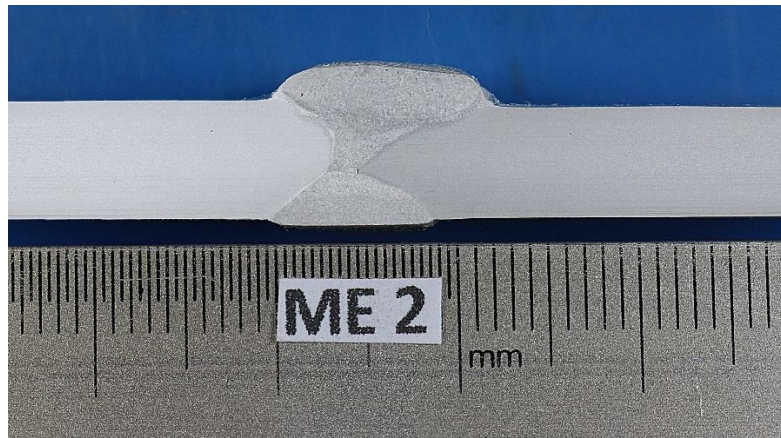
(*ASM Handbook Vol 9. Metallography and Microstructures*)

Selain dari pada itu Peasura, P (2012) pengelasan dengan argon memberikan ukuran butir yang kecil sehingga dengan ukuran tersebut dapat menghasilkan kekerasan yang lebih tinggi atau baik. Hal tersebut dapat dilihat pada hasil struktur mikro bahwa terciptanya bentuk butir-butir kecil pada hasil pengelasan GMAW dengan argon yang mana hal ini dapat dapat mempengaruhi peningkatan terhadap sifat mekanis.

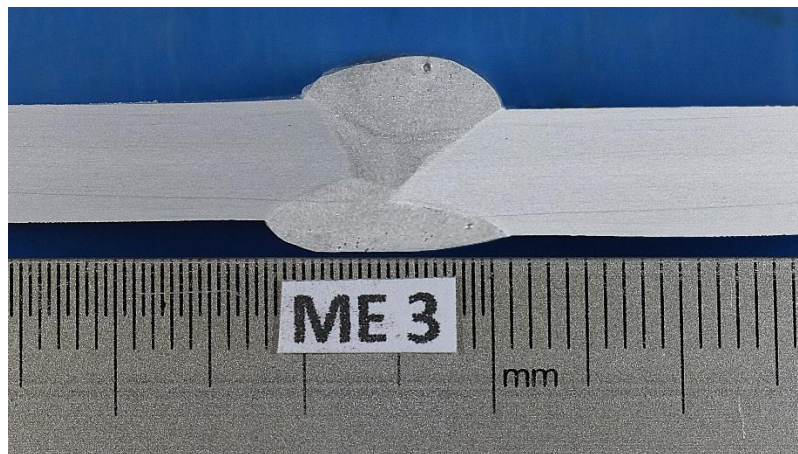
4.4.1 Hasil dan Analisis Struktur Makro



Gambar 4.18 Foto Makro Pengelasan GMAW Variasi Elektroda ER 5356



Gambar 4.19 Foto Makro Pengelasan GMAW Variasi Elektroda ER 5356 dan ER 5556



Gambar 4.20 Foto Makro Pengelasan GMAW Variasi Elektroda ER 5556

Dari foto makro diatas dapat dilihat bahwa hasil etsa menampilkan daerah-daerah yang terkena efek pengelasan yaitu HAZ (*Heat Affected Zone*), *Fusion Line*, dan *Weld Metal*. Pengukuran panjang daerah HAZ dilakukan dengan bantuan software *Digimizer* agar memperkecil kesalahan perhitungan dengan mata manusia. Panjang HAZ spesimen hasil pengelasan menggunakan ER 5356, *multipass* ER 5356 dan ER 5556, dan ER 5556 secara berturut-turut adalah 0.64 mm, 0.65 mm, dan 0.6 mm. Variasi elektroda tidak memberikan perbedaan pada daerah HAZ yang signifikan pada hasil pengelasan. Hal ini dikarenakan perlakuan panas seperti kecepatan, heat input, dan travelling speed ketiga spesimen ini adalah sama. Namun

ditemukan porositas dan deformasi pada **Gambar 4.18** yang pada awalnya tidak ditemukan pada NDT. Hal ini dikarenakan pengelasan manual yang memberikan laju tidak rata.

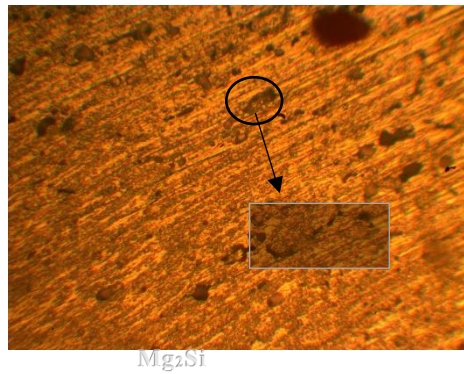
4.4.2 Hasil dan Analisis Struktur Mikro

Menurut *ASM Handbook Vol 9. Metallography and Microstructures*, Aluminium seri 5XXX memiliki fase yang dapat dilihat dengan pengamatan mikro yaitu fase Mg_2Si , $Al_{18}Mg_3Cr_2$, dan Al_6Mn . Fase yang paling mudah terlihat adalah Mg_2Si yang berbentuk seperti tulisan china (*Chinese script*) berwarna biru kehitaman dan terdispersi pada matrik Aluminium yang berwarna putih. Sementara itu $Al_{18}Mg_3Cr_2$ berwarna putih keabu-abuan yang terletak merata pada Aluminium karena fase ini adalah fase yang membentuk sebagian besar Aluminium. Sedangkan Al_6Mn berbentuk polyhedral dan berwarna abu-abu. Pengelasan pada prosesnya memberikan panas untuk meleburkan filler metal, proses ini dapat mengubah struktur mikro spesimen, dimana perubahan struktur mikro terjadi pada daerah *Heat Affecting Zone (HAZ)*. Daerah ini memiliki butir lebih kasar karena base metal menerima panas, karena itu base metal melepaskan Magnesium kemudian bersenyawa dengan silikon membentuk Mg_2Si . Hal ini terjadi karena silikon (Si) yang merupakan unsur tambahan dari filler memiliki kepekaan untuk membentuk formasi Mg_2Si tersebut.

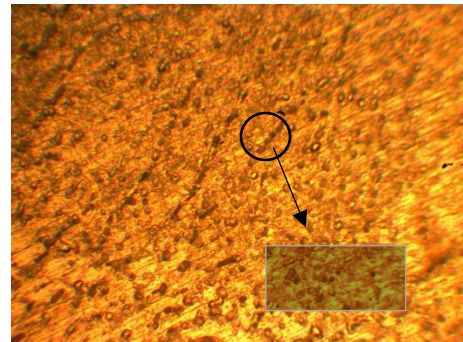
Dengan bertambahnya kandungan mangan pada elektroda yang berbeda, maka fase Al_6Mn akan bertambah dimana fase ini akan meningkatkan kekuatan material karena sifat Mn yang menambah ketahanan. Pada pengelasan menggunakan elektroda ER 5356 akan memiliki fase Al_6Mn yang lebih sedikit daripada pengelasan menggunakan elektroda ER 5556. Hal ini karena pada ER 5556 mengandung Mangan 5 – 10 kali lebih banyak daripada ER 5356. Evans (2003) pada penelitiannya tentang efek penambahan mangan pada pengelasan karbon menunjukkan kenaikan jumlah *acicular ferrite* berwarna hitam keabu-abuan yang menyebabkan meningkatnya sifat mekanik.

Gambar 4.21. menunjukkan struktur mikro butt joint dengan variasi elektroda ER 5356 dengan perbesaran 400x. Pada daerah (a) adalah struktur mikro material

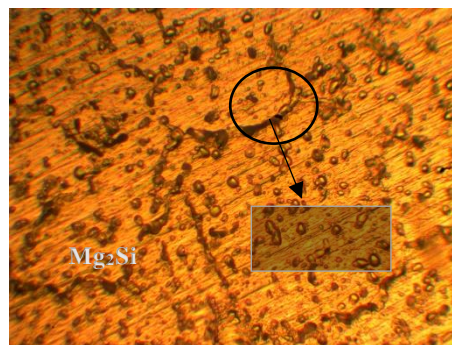
induk (*base metal*), daerah (b) adalah struktur mikro daerah pengaruh panas (HAZ), dan daerah (c) adalah struktur mikro logam lasan (*weld metal*).



(a). Base Metal ER 5356



(b). HAZ ER 5356



(c). Weld Metal ER 5356

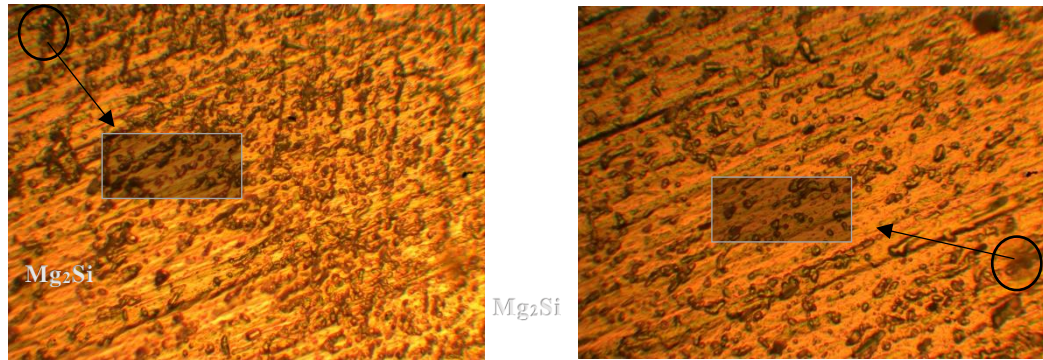
Gambar 4.21. Hasil Struktur Mikro ER 5356

Berdasarkan struktur mikro terdapat struktur yang terdiri dari $\text{Al}_{18}\text{Mg}_3\text{Cr}_2$, Al_6Mn , dan Mg_2Si . Dimana yang paling terlihat adalah fase Mg_2Si yang berwarna biru kehitaman dan berbentuk seperti *Chinese script* yakni panjang dan meliuk-liuk. Sedangkan $\text{Al}_{18}\text{Mg}_3\text{Cr}_2$ dan Al_6Mn berwarna putih keabu-abuan yang terletak merata pada spesimen Aluminium, pada pengamatan tersebut $\text{Al}_{18}\text{Mg}_3\text{Cr}_2$ dan Al_6Mn berwarna oranye karena efek dari lampu mikroskop yang berwarna kuning. Perhitungan persentase fase $\text{Al}_{18}\text{Mg}_3\text{Cr}_2$, Al_6Mn , dan Mg_2Si menggunakan metode image processing dengan bantuan software *Digitimizer*.

Gambar 4.21 menunjukkan dari hasil struktur mikro dimana pada (a) daerah base metal memiliki persentase Mg_2Si 9.95% dan $\text{Al}_{18}\text{Mg}_3\text{Cr}_2$, Al_6Mn 90.05%. (b) daerah *heat affected zone* (HAZ) memiliki persentase Mg_2Si 16.67%

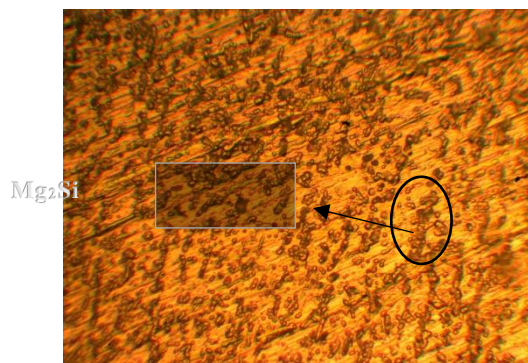
dan $\text{Al}_{18}\text{Mg}_3\text{Cr}_2$, Al_6Mn 83.33%. (c) daerah *weld metal* memiliki persentase Mg_2Si 21.4% dan $\text{Al}_{18}\text{Mg}_3\text{Cr}_2$, Al_6Mn 78.6%.

Hasil Pengujian struktur mikro pada pengelasan dengan variasi elektroda ER 5356 dan ER 5556 secara multipass ditunjukkan **Gambar 4.22** dibawah ini.



(a). Base Metal ER 5356 & ER 5556

(b). HAZ ER 5356 & ER 5556

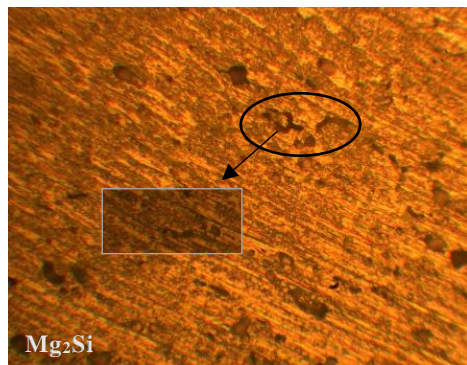


(c). Weld Metal ER 5356

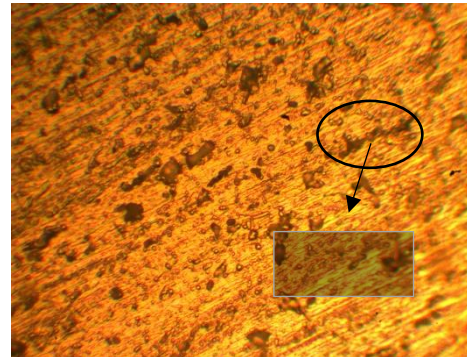
Gambar 4.22. Hasil Struktur Mikro ER 5356 & ER 5556

Gambar 4.22 menunjukkan dari hasil struktur mikro dimana pada (a) daerah base metal memiliki persentase Mg_2Si 22.67% dan $\text{Al}_{18}\text{Mg}_3\text{Cr}_2$, Al_6Mn 77.83%. (b) daerah *heat affected zone* (HAZ) memiliki persentase Mg_2Si 23.91% dan $\text{Al}_{18}\text{Mg}_3\text{Cr}_2$, Al_6Mn 76.09%. (c) daerah *weld metal* memiliki persentase Mg_2Si 37.17% dan $\text{Al}_{18}\text{Mg}_3\text{Cr}_2$, Al_6Mn 62.83%.

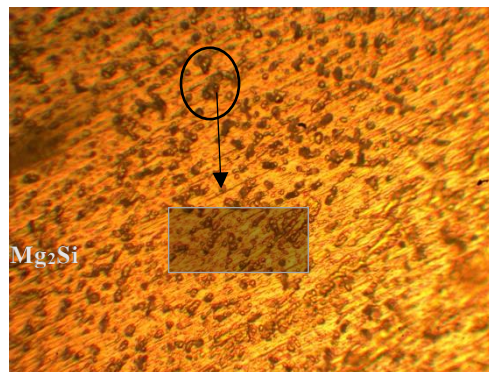
Sedangkan hasil pengujian mikro dengan variasi elektroda ER 5556 ditunjukkan oleh **Gambar 4.23** dibawah ini.



(a). Base Metal ER 5556



(b). HAZ ER 5556



(c). Weld Metal ER 5556

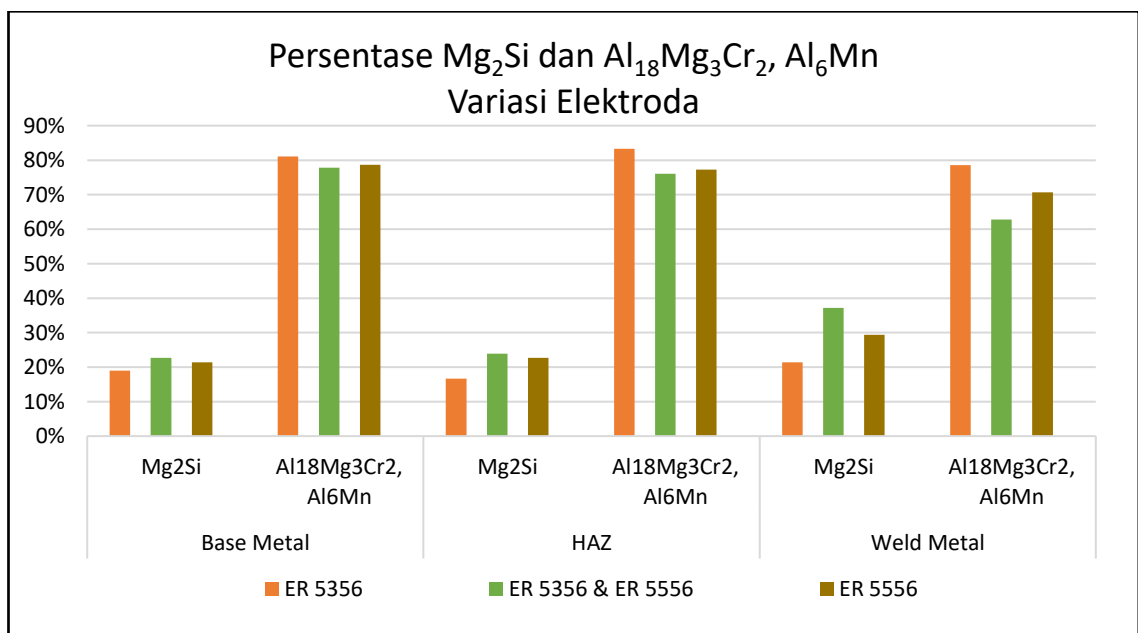
Gambar 4.23 Hasil Struktur Mikro ER 5556

Gambar 4.23 menunjukkan dari hasil struktur mikro dimana pada (a) daerah base metal memiliki persentase Mg_2Si 21.37% dan $Al_{18}Mg_3Cr_2$, Al_6Mn 78.63%. (b) daerah *heat affected zone* (HAZ) memiliki persentase Mg_2Si 22.71% dan $Al_{18}Mg_3Cr_2$, Al_6Mn 77.29%. (c) daerah *weld metal* memiliki persentase Mg_2Si 29.34% dan $Al_{18}Mg_3Cr_2$, Al_6Mn 70.66%.

Berikut adalah persentase dan perbandingan $Al_{18}Mg_3Cr_2$, Al_6Mn dan (Mg_2Si), yang dijelaskan pada **Tabel 4.7**

Tabel 4.7 Persentase $Al_{18}Mg_3Cr_2$, Al_6Mn dan Mg_2Si

Keterangan	Base Metal		HAZ		Weld Metal	
	Mg_2Si	$Al_{18}Mg_3Cr_2$, Al_6Mn	Mg_2Si	$Al_{18}Mg_3Cr_2$, Al_6Mn	Mg_2Si	$Al_{18}Mg_3Cr_2$, Al_6Mn
Elektroda <i>ER 5356</i>	18.95%	81.05%	16.67%	83.33%	21.40%	78.60%
Elektroda <i>ER 5356 dan ER 5556</i>	22.67%	77.83%	23.91%	76.09%	37.17%	62.83%
Elektroda <i>ER 5556</i>	21.37%	78.63%	22.71%	77.29%	29.40%	70.66%



Gambar 4.24 Presentase $Al_{18}Mg_3Cr_2$, Al_6Mn dan Mg_2Si
Variasi Elektroda

Berdasarkan **Gambar 4.24** persentase Mg_2Si dan $Al_{18}Mg_3Cr_2$, pada base metal Al_6Mn terdapat perbedaan yang tidak signifikan, hal ini disebabkan oleh tidak meratanya heat input karena pengelasan dilakukan manual. Perbedaan terlihat saat memasuki daerah HAZ, dimana variasi elektroda mempengaruhi kandungan Mg_2Si

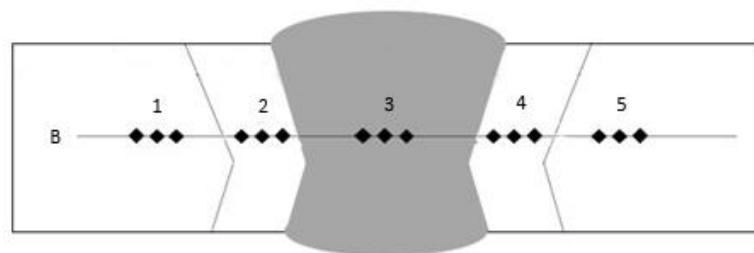
yang bertambah dengan variasi elektroda. Kandungan Mg_2Si pada daerah HAZ paling rendah dimiliki oleh pengelasan menggunakan ER 5356 dan yang paling tinggi dimiliki oleh pengelasan menggunakan elektroda campuran ER 5356 dan ER 5556. Sedangkan pada daerah *weld metal* kandungan Mg_2Si paling banyak dimiliki oleh pengelasan dengan elektroda campuran ER 5356 dan ER 5556. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Zhihao (2011), bahwa penambahan mangan (Mn) menghasilkan struktur mikro yang mempunyai dendrit hitam (Mg_2Si) yang lebih banyak daripada spesimen yang mempunyai kandungan mangan lebih rendah.

4.5 Pengujian Kekerasan (*Vickers Hardness Test*)

4.5.1 Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilaksanakan di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK-ITS Surabaya. Pengujian kekerasan bertujuan untuk mengetahui nilai tingkat kekerasan dari material uji, tingkat kekerasan suatu material berhubungan dengan sifat keuletan material. Semakin tinggi nilai kekuatan tarik suatu material maka akan tinggi pula tingkat kekerasannya, namun keuletan material akan menurun (*brittle*). Sebaliknya, semakin lunak suatu material maka semakin rendah pula *tensile strength*-nya, semakin turun kegetasannya dan semakin naik keuletannya. Atau dengan kata lain nilai tingkat kekerasan suatu material berbanding lurus dengan kekuatan tarik dan *brittleness* serta berbanding terbalik dengan *ductility*-nya.

Pengujian kekerasan dengan metode Vickers dilakukan pada 15 titik meliputi logam dasar (base metal) sebanyak 3 titik untuk masing-masing sisi, HAZ sebanyak 3 titik untuk masing-masing sisi, dan Weld Metal sebanyak 3 titik. Pengujian dilakukan untuk melihat perbedaan nilai kekerasan antara kondisi pengelasan yang divariasikan dengan jenis elektroda.



Gambar 4.25 Titik Pengujian Kekerasan

Dari pengujian kekerasan yang dilakukan, diperoleh data-data sebagai berikut :

Tabel 4.8 Hasil Uji Kekerasan Variasi Elektroda ER 5356

Lokasi	Vickers Hardness Number (HV. 1)														
	Base Metal			HAZ			Weld Metal			HAZ			Base Metal		
	1			2			3			4			5		
B	64.40	65.03	61.38	72.55	75.41	74.87	63.47	54.66	64.17	54.94	57.20	58.94	58.45	61.56	67.06
Average	63.60			74.28			60.77			57.03			62.36		

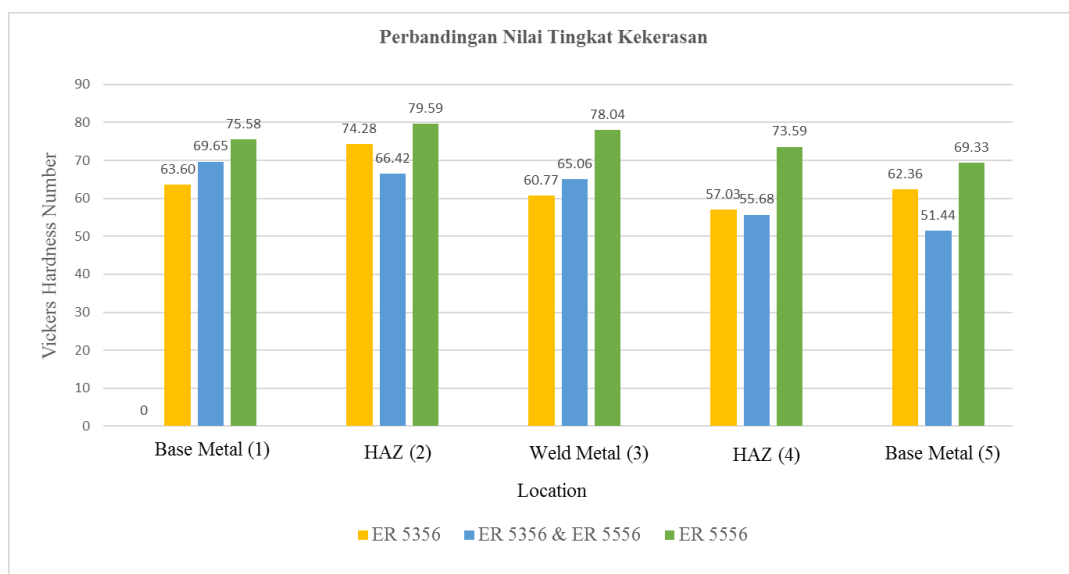
Tabel 4.9 Hasil Uji Kekerasan Variasi Elektroda ER 5356 dan ER 5556

Lokasi	Vickers Hardness Number (HV. 1)														
	Base Metal			HAZ			Weld Metal			HAZ			Base Metal		
	1			2			3			4			5		
B	70.00	70.88	68.08	64.31	66.64	68.32	65.50	63.79	65.88	56.92	55.41	54.70	53.17	51.91	49.24
Average	69.65			66.42			65.06			55.68			51.44		

Tabel 4.10 Hasil Uji Kekerasan Variasi Elektroda ER 5556

Lokasi	Vickers Hardness Number (HV. 1)														
	Base Metal			HAZ			Weld Metal			HAZ			Base Metal		
	1			2			3			4			5		
B	72.95	78.00	75.78	79.42	79.28	80.07	76.82	84.45	72.84	75.90	71.37	73.50	70.23	68.17	69.58
Average	75.58			79.59			78.04			73.59			69.33		

Data nilai kekerasan untuk pengelasan dengan variasi *groove* dapat ditransformasikan ke dalam grafik seperti pada pada **Gambar 4.26**



Gambar 4.26 Perbandingan Nilai Tingkat Kekerasan

Berdasarkan grafik hasil uji kekerasan pada **Grafik 4.26** dapat dilihat bahwa nilai kekerasan tertinggi pada *weld metal* terdapat pada variasi pengelasan dengan elektroda ER 5556 yaitu sebesar 78.04 HVN. Pada *heat affected zone* (HAZ), nilai kekerasan tertinggi terjadi pada variasi pengelasan dengan elektroda ER 5556. Begitu juga pada daerah logam induk (*base metal*) nilai kekerasan tertinggi terdapat pada variasi pengelasan dengan elektroda ER 5556 dengan nilai 75.58 pada daerah *base metal* (1). Sedangkan pengelasan dengan variasi elektroda ER 5356 menghasilkan nilai kekerasan paling kecil pada *weld metal* yaitu 60.77 HVN. Pengelasan dengan variasi elektroda campuran (*multi-pass*) ER 5356 dan ER 5556 menghasilkan nilai kekerasan pada *base metal* (1), HAZ (2), *weld metal* (3), HAZ (4), dan *base metal* (5) berturut turut adalah 69.65 HVN, 66.42 HVN, 65.06 HVN, 55.68 HVN, dan 51.44 HVN.

4.5.2 Kesimpulan Hasil Pengujian Kekerasan

Berdasarkan hasil uji kekerasan Vickers terjadi kenaikan nilai kekerasan dari daerah *base metal*, *heat affected zone* hingga *weld metal* variasi elektroda. Analisis terhadap nilai kekerasan, menghasilkan kesimpulan bahwa pengelasan metode GMAW menggunakan elektroda ER 5556 menghasilkan specimen uji lebih keras daripada ER 5356 dan campuran *multi-pass* ER 5356 dan ER 5556. Namun pengelasan dengan variasi elektroda campuran *multi-pass* ER 5356 dan ER 5556 menghasilkan uji kekerasan yang menurun daripada variasi elektroda ER 5356, hal ini terjadi karena ada jeda waktu saat mengganti elektroda pada mesin GMAW.

Pada daerah *base metal* dan *haz* (1) dan (5) terjadi perbedaan nilai kekerasan karena jenis logam yang berbeda, namun nilai kekerasan menggunakan elektroda ER 5556 menghasilkan nilai kekerasan tertinggi. Dari analisis ini dapat ditarik kesimpulan bahwa penambahan mangan pada pengelasan aluminium seri 5083 dengan 6061 mengakibatkan bertambahnya nilai kekerasan yaitu 28.4% lebih keras saat menggunakan ER 5556 daripada ER 5356. Dan 8.25% lebih keras saat menggunakan campuran *multi-pass* ER 5356 dan ER 5556 daripada ER 5356.

4.6 Prediksi Laju Korosi

Prediksi laju korosi ini dilakukan di Laboratorium Elektrokimia dan Nano Teknologi Teknik Kimia FTI-ITS. Metode yang digunakan ialah sel tiga elektroda yang dibantu oleh peralatan Potensiotat Autolab dan *software* NOVA. Prinsip prediksi laju korosi dengan metode sel tiga elektroda ialah dengan menggunakan Hukum Faraday. Pertama data yang diperlukan dimasukkan, data tersebut adalah massa jenis = 2.65 g/cm^3 , *equivalent weight* = 31.48 g/mol , dan area yang terendam = 1.08 cm^2 . Pada prediksi korosi ini digunakan ketelitian 5 angka dibelakang koma.

Data yang diperoleh dari pengujian korosi dengan metode sel tiga elektroda ini dilengkapi dengan Diagram Tafel. Diagram Tafel ialah diagram yang menunjukkan potensial dan rapat arus yang digunakan pada uji korosi. Pada Diagram Tafel ada dua sumbu, yaitu sumbu X yang menunjukkan potensial (volt), potensial pada pengujian sel tiga elektroda ini merupakan variable dependen. Sumbu Y menunjukkan rapat arus yang dipakai, rapat arus dalam pengujian ini berubah-ubah sesuai dengan potensial yang dikenakan. Rapat arus dalam pengujian ini merupakan variable independen. Dari Diagram Tafel akan diperoleh titik-titik anoda dan katoda yang dapat membuat dua garis lurus. Perpotongan antara dua garis dari anoda dan katoda menunjukkan nilai rapat arus korosi.

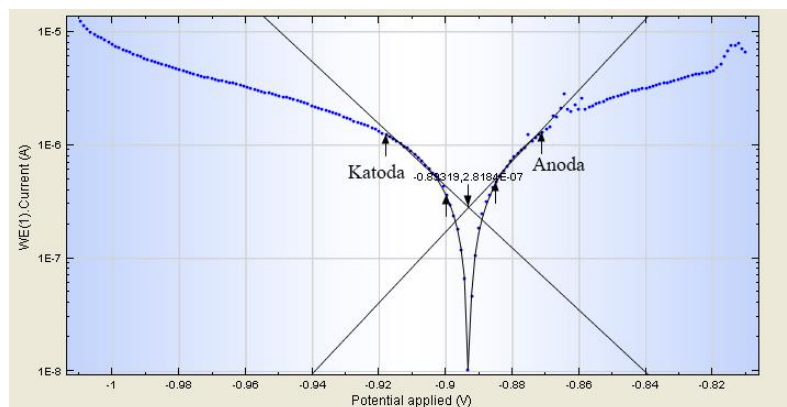
4.6.1 Prediksi Laju Korosi Pengelasan Variasi Elektroda

Pada spesimen uji hasil las dengan elektroda ER 5356 mendapatkan hasil perhitungan prediksi korosi dari *software* NOVA yaitu nilai potensial -0.893 V , kerapatan arus $3.03 \mu\text{A/cm}^2$, prediksi laju korosi 0.117 mmpy dan Diagram Tafel. **Tabel 4.11** dan **Gambar 4.27** dibawah ini menunjukkan hasil dan Diagram Tafel spesimen uji hasil las dengan elektroda ER 5356.

Tabel 4.11. *Output Software NOVA*

Pengelasan 5083 dan 6061 Elektroda ER 5356

E_{corr} (V)	i_{corr} ($\mu\text{A/cm}^2$)	<i>Corrosion rate</i> (mmpy)
-0.893	3.03	0.117



Gambar 4.27. Diagram Tafel

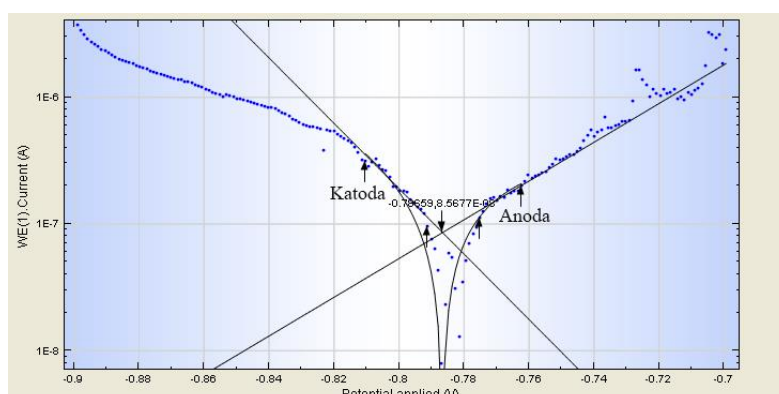
Pengelasan 5083 dan 6061 Elektroda ER 5356

Pada spesimen uji hasil las dengan elektroda campuran ER 5356 dan ER 5556 mendapatkan hasil perhitungan prediksi korosi dari *software* NOVA yaitu nilai potensial -0.786 V, kerapatan arus 1.025 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$, prediksi laju korosi 0.039 mmpy dan Diagram Tafel. **Tabel 4.12** dan **Gambar 4.28** dibawah ini menunjukkan hasil dan Diagram Tafel spesimen uji hasil las dengan elektroda campuran ER 5356 dan ER 5556

Tabel 4.12. *Output Software NOVA*

Pengelasan 5083 dan 6061 Elektroda ER 5356 & ER 5556

E_{corr} (V)	i_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	<i>Corrosion rate</i> (mmpy)
-0.786	1.025	0.0398



Gambar 4.28. Diagram Tafel

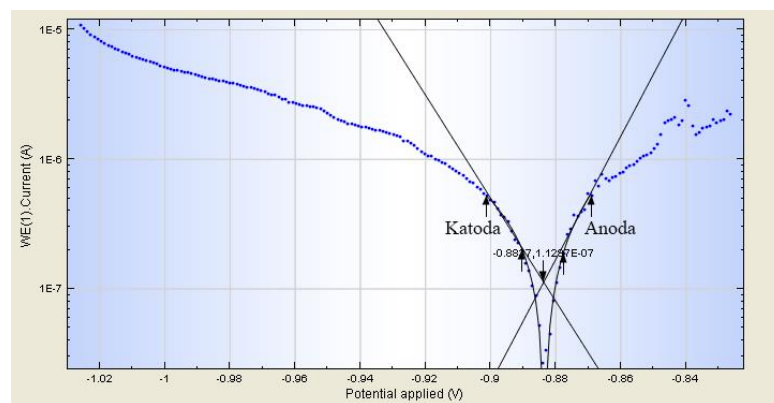
Pengelasan 5083 dan 6061 Elektroda ER 5356 & ER 5556

Pada spesimen uji hasil las dengan elektroda ER 5556 mendapatkan hasil perhitungan prediksi korosi dari *software* NOVA yaitu nilai potensial -0.884 V, kerapatan arus 2.92 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$, prediksi laju korosi 0.011 mmpy dan Diagram Tafel. **Tabel 4.13.** dan **Gambar 4.29.** dibawah ini menunjukkan hasil dan Diagram Tafel spesimen uji hasil las dengan elektroda ER 5556.

Tabel 4.13. *Output Software NOVA*

Pengelasan 5083 dan 6061 Elektroda ER 5556

E_{corr} (V)	i_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	<i>Corrosion rate</i> (mmpy)
-0.884	2.92	0.011



Gambar 4.29. Diagram Tafel

Pengelasan 5083 dan 6061 Elektroda ER 5356 & ER 5556

4.6.2 Analisis Hasil Prediksi Laju Korosi

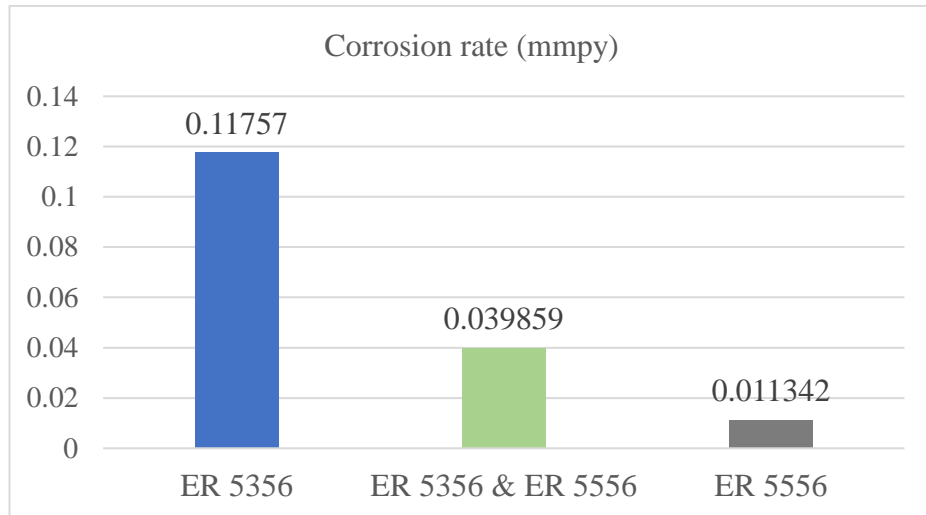
Berdasarkan persamaan 2.6 tentang laju korosi yang menyebutkan bahwa rapat arus berbanding lurus dengan nilai prediksi laju korosi yang didapat. Semakin kecil laju korosi, maka semakin baik sifat ketahanan korosisnya (Fontana, 1987). Klasifikasi ketahanan korosi pada penelitian ini mengacu pada **Tabel 4.14.**

Tabel 4.14. Tingkat Ketahanan Korosi yang Digunakan Pada Penelitian
(Fontana, 1987)

<i>Relative Corrosion Resistance</i>	<i>Approximate Metric Equivalent</i>				
	mpy	mm/year	µm/year	nm/year	pm/sec
<i>Outstanding</i>	<1	<0.02	<25	<2	<1
<i>Excellent</i>	1-5	0.02-0.1	25-100	2-10	1-5
<i>Good</i>	5-20	0.1-0.5	100-500	10-50	5-20
<i>Fair</i>	20-50	0.5-1	500-1000	50-100	20-50
<i>Poor</i>	50-200	1-5	1000-5000	150-500	50-200
<i>Unacceptable</i>	>200	>5	>5000	>500	>200

Berdasarkan Tabel 4.11, hasil pengelasan pada spesimen menggunakan elektroda ER 5356 memiliki prediksi laju korosi 0.117 mmpy dikategorikan sebagai *Good*. Hasil pengelasan pada spesimen menggunakan elektroda campuran multipass ER 5356 dan ER 5556 memiliki prediksi laju korosi 0.0398 mmpy dikategorikan sebagai *Excellent*. Pada hasil pengelasan spesimen menggunakan elektroda ER 5556 memiliki prediksi laju korosi 0.011 dikategorikan sebagai *Excellent*.

Pengaruh mangan sangat terlihat dalam pengujian prediksi laju korosi ini. Spesimen hasil pengelasan menggunakan elektroda ER 5556 memiliki prediksi laju korosi paling rendah. Bila dibandingkan dengan spesimen uji hasil pengelasan dengan campuran elektroda ER 5356 dan ER 5556, laju korosi turun hingga tiga kali lipat. Sedangkan bila dibandingkan dengan spesimen uji hasil pengelasan dengan elektroda ER 5356 laju korosi turun hingga sepuluh kali lipat. Dalam hal ini mangan berpengaruh menurunkan laju korosi karena struktur mikro mangan pada aluminium mengikat unsur aluminium itu sendiri membentuk $(\text{Fe,Mn})_3\text{SiAl}_{12}$. Bilamana unsur mangan semakin banyak maka, mangan akan mengikat lebih banyak unsur aluminium dan memberikan daya tahan korosi yang lebih kuat. Adapun nilai-nilai prediksi laju korosi pada penelitian ini dapat dilihat lengkapnya pada **Gambar 4.30**.



Gambar 4.30. Prediksi Laju Korosi Variasi Elektroda

4.7 Hasil Analisis Keseluruhan (Sifat Mekanis, Metalografi, dan Prediksi Laju Korosi)

Pada pengujian kekuatan tarik, spesimen hasil pengelasan menggunakan elektroda ER 5356, campuran ER 5356-ER 5556, dan ER 5556 berturut-turut memiliki kekuatan *yield* 172.12 MPa, 186.58 MPa, dan 196.68 MPa. Sedangkan kekuatan ultimate pada specimen hasil uji tersebut berturut-turut 196.13 MPa, 200.94 MPa, dan 203.46 MPa. Pada pengujian kekerasan, specimen hasil pengelasan menggunakan elektroda ER 5356 memiliki nilai tingkat kekerasan pada daerah base metal (1), HAZ (2), weld metal (3), HAZ (3), dan base metal (4) berturut-turut 63.6 HVN, 74.28 HVN, 60.77 HVN, 57.03 HVN, dan 62.36 HVN. Pada pengujian menggunakan elektroda campuran ER 5356-ER5556 memiliki nilai tingkat kekerasan pada daerah base metal (1), HAZ (2), weld metal (3), HAZ (3), dan base metal (4) berturut-turut 69.65 HVN, 66.42 HVN, 65.06 HVN, 55.68 HVN, dan 51.44 HVN. Sedangkan pada pengujian menggunakan elektroda ER 5556 memiliki nilai tingkat kekerasan pada daerah base metal (1), HAZ (2), weld metal (3), HAZ (3), dan base metal (4) berturut-turut 75.58 HVN, 79.59 HVN, 78.04 HVN, 73.59 HVN, dan 69.33 HVN.

Pada pengujian metalografi, Panjang daerah HAZ struktur makro didapatkan cenderung sama pada variasi elektroda. Hal ini terjadi karena saat pengelasan diberikan heat input yang sama terhadap ketiga variasi elektroda. Panjang daerah HAZ pada hasil pengelasan dengan elektroda ER 5356, campuran ER 5356-ER 5556, dan ER 5556 berturut-turut adalah 0.5 mm, 0.6mm, dan 0.5 mm. Sedangkan pada foto specimen struktur mikro, semakin bertambahnya kandungan *mangan*, semakin rapat dendrit-dendrit pada struktur mikro dan fase Mg_2Si bertambah banyak pula.

Pada prediksi laju korosi, hasil pengelasan pada spesimen menggunakan elektroda ER 5356 memiliki prediksi laju korosi 0.117 mmpy dikategorikan sebagai *Good*. Hasil pengelasan pada spesimen menggunakan elektroda campuran multipass ER 5356 dan ER 5556 memiliki prediksi laju korosi 0.0398 mmpy dikategorikan sebagai *Excellent*. Pada hasil pengelasan spesimen menggunakan elektroda ER 5556 memiliki prediksi laju korosi 0.011 dikategorikan sebagai *Excellent*.

Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa semakin besar kandungan mangan dalam elektroda pada pengelasan GMAW maka akan meningkatkan kekuatan tarik (*yield dan ultimate*), meningkatkan tingkat kekerasan, mengurangi keuletan (*ductility*), menurunkan laju korosi, dan meningkatkan banyaknya fase Mg_2Si pada hasil pengelasan.

4.8 Kesesuaian Kesimpulan dengan Hipotesa

Kesimpulan yang didapat sesuai dengan hipotesa awal bahwa peningkatan kadar mangan pada elektroda akan meningkatkan sifat mekanis yaitu kekuatan tarik dan kekerasan. Peningkatan kadar mangan juga membuat struktur mikro hasil pengelasan lebih padat akan dendrit yaitu fase Mg_2Si , hal ini sesuai dengan hipotesa awal. Pada laju korosi, peningkatan kadar mangan pada elektroda juga membuat laju korosi semakin lambat, hal ini sesuai dengan hipotesa awal penulis.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan tentang pengaruh variasi elektroda ER 5356, campuran ER 5356-ER 5556, dan ER 5556 pada pengelasan GMAW aluminium 5083 dengan 6061, didapatkan 3 kesimpulan untuk menjawab rumusan masalah pada penelitian ini. Hasil kesimpulan yang didapatkan sesuai dengan hipotesa awal yang diberikan. Adapun 3 poin kesimpulannya, diuraikan sebagai berikut

1. Pada pengujian sifat mekanis kekuatan tarik dan kekerasan, dapat diketahui bahwa seiring naiknya kandungan mangan (Mn) pada elektroda, maka semakin bertambah pula kekuatan tarik *yield*, *ultimate*, dan tingkat kekerasannya. Pada pengujian kekuatan tarik, spesimen hasil pengelasan menggunakan elektroda ER 5356, campuran ER 5356-ER 5556, dan ER 5556 berturut-turut memiliki kekuatan *yield* 172.12 MPa, 186.58 MPa, dan 196.68 MPa. Sedangkan kekuatan *ultimate* pada specimen hasil uji tersebut berturut-turut 196.13 MPa, 200.94 MPa, dan 203.46 MPa. Serta kekerasan tertinggi dimiliki oleh elektroda ER 5556 memiliki nilai tingkat kekerasan pada daerah base metal (1), HAZ (2), weld metal (3), HAZ (3), dan base metal (4) berturut-turut 75.58 HVN, 79.59 HVN, 78.04 HVN, 73.59 HVN, dan 69.33 HVN.
2. Pada pengujian metalografi diketahui bahwa panjang Heat Affected Area (HAZ) pada setiap specimen relative sama yaitu 0.5 mm, 0.6 mm, dan 0.5 mm berturut-turut untuk hasil pengelasan ER 5356, campuran ER5356-ER 5556, dan ER 5556. Sedangkan pada struktur mikro diketahui bahwa semakin bertambahnya kandungan mangan pada elektroda membuat dendrit pada struktur mikro lebih banyak dan lebih rapat, selain itu fase Mg_2Si meningkat.

3. Pada pengujian laju korosi dengan metode sel tiga elektroda, diketahui bahwa semakin tinggi kandungan mangan pada elektroda maka laju korosi semakin menurun. Berdasarkan pengujian yang dilakukan, elektroda ER 5356 memiliki prediksi laju korosi 0.117 mmpy, elektroda campuran ER 5356-ER 5556 memiliki prediksi laju korosi 0.0398 mmpy, dan elektroda ER 5556 memiliki prediksi laju korosi 0.011 mmpy..

5.2 Saran

Berikut merupakan saran-saran yang dapat digunakan sebagai penyempurnaan serta penelitian lebih mendalam pada tugas akhir selanjutnya, antara lain :

1. Pada penelitian selanjutnya perlu adanya kajian ekonomis terhadap penelitian ini.
2. Pada penelitian selanjutnya perlu ditambahkan mangan dengan variasi kadar yang berbeda-beda dengan mencampur mangan secara manual.
3. Pada penelitian selanjutnya dalam pengukuran daerah haz dan persentase fase yang tersebar di material digunakan *software image processing* untuk memperkecil kesalahan mata manusia.
4. Pada penelitian selanjutnya perlu adanya penelitian lebih lanjut tentang deformasi akibat tegangan sisa yang diakibatkan oleh pengelasan dengan variasi elektroda.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggaretno, Imam Rochani dkk. 2012. *“Analisa Pengaruh Jenis Elektroda terhadap Laju Korosi pada Pengelasan Pipa API 5L Grade X65 dengan Media Korosi FeCl₃”*, Jurnal Teknik ITS, Vol. 1, No. 1, September, hal. G124-G128
- ASM Handbook Volume 6. 1993. **“Welding, Brazing and Soldering”** : ASM International.
- ASM Handbook Volume 9. 2003. **“Metallography and Microstructures”** : ASM International.
- ASM Specialty Handbook. “Aluminium and Aluminium Alloys” : ASM International
- ASTM E92., 2004, *“Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Material”*, Washington: ASTM Publishing.
- AWS section A5.10., 1999. *“Specification for Bare Aluminum and Aluminum-Alloy Welding Electrodes and Rods”*: American Welding Society.
- AWS section D1.1., 2001, *Structural Welding Code* – Steel, Florida: American Welding Society.
- Callister, William., 2000, Material Science and Engineering – *An Introduction sevent edition*. The University of Utah : Departmen of Meallurgical Engineering.
- Darsin, M dkk. 2010. *“Analisa Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Paduan Alumunium 5083 Akibat Pengelasan Metal Inert Gas (MIG) Dengan Variasi Preheat Dan Post Heat”*, Jurnal ROTOR, Vol. 3, No. 2, Juli, hal. 67-75.
- Evans. 2003. **“Effect of Manganese on The Microstructures and Properties of All-Weld-Metal Deposits”**, USA : AWS Welding Research

- Firmansyah, Dicky. 2017. ***“Analisis Pengaruh Variasi Kecepatan Aliran Gas Pelindung Hasil Pengelasan Gmaw Terhadap Kekuatan Mekanik dan Struktur Mikro Alumunium Seri 5083”***. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Fontana, M.G., 1987. ***“Corrosion Engineering”***. New York : McGraw-Hill Book Company
- Ibrahim, Izzatul dkk. 2012. ***“The Effect o Gas Metal Arc Welding (GMAW) Processes on Different Welding Paratemers”***, Malaysia : International Symposion on Robotics and Intelligent Sensors.
- Nafiyanto, Achmad Vendy. 2010. ***“Analisa Perbandingan Kualitas Hasil Pengelasan dan Struktur Mikro Material Aluminium 5083 dan 6082 Menggunakan Metode GMAW dan GTAW”***. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Nam, Soo Woo dan Lee, Duck Hee. 2000. ***“The Effect of Mn on the Mechanical Behaviour of Alloy”***, Korea : Jurnal Metals and Materials, Vol. 6, No. 1(2000), hal. 13-16
- RINA. 2017. ***“RINA Rules 2017 Pt D Materials and Welding”***. Italy : RINA Services.
- Rosdiansyah, Dean Adi. 2009. ***“Analisa Pengelasan Fillet Aluminium 5083 dengan Aluminium 6082 Menggunakan Elektroda ER 5356 dengan Metoda Pengelasan GMAW”***. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Susetyo, Ferry Budhi dkk. 2013. ***“Studi karakteristik Hasil Pengelasan MIG Pada Material Alumunium 5083”***, Jurnal Mechanical, Vol. 4, No. 2, September, hal. 11-17
- Widharto, S., 2007, ***“Inspeksi Teknik Jilid 6”***, Jakarta: Pradnya Paramita.
- Wiryosumarto, Harsono, Toshie Okumura. 2000 ***“Teknologi Pengelasan Logam”***. Jakarta: PT Pradnya Paramita

Zhihao, Zhao dkk. 2012. *“Effect of Mn on Microstructure and Mechanical Properties of Al-Mg-Si-Cu-Cr-V Alloy”*, Shenyang : Northeastern University

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN A

PENGELASAN



Mesin GMAW



Aluminium



Filler Metal



Bevel



Gas Pelindung Argon



Proses Pengelasan



Hasil Pengelasan ER 5356



Hasil Pengelasan ER 5356 dengan ER 5556



Hasil Pengelasan ER 5556



KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM WELDING CENTER

Jl. Teknik Kimia - Kampus ITS Sukolilo Surabaya 60111
Telp. 031-5947186 Fax. 031-5925524
www.ppns.ac.id

Name : ACHMAD MIKAIL RIZKI
Welding Procedure : No.01- 02 & 03 Date, 11 - 12 - 2017
Welding Process(es) : GMAW
Joints Design (QW-402) : Butt Joint
Groove : Single V
Base Metals (QW-403) : Aluminium t 6 mm 5083 to 6061
Filler Metals (QW-404) : ER 5356 & ER 5556 diameter 1,2 mm
Positins (QW-405) : 1G
GAS (es) : Argon HP 99,999%
Technique (QW-410) : String or Weave

1. Filler Metal ER 5356

Wel Layer	Process	Filler Metal		Curretn		Volt Range	Trevel speed
		Class	Dia	Polarity	Ampere		
1	GMAW	ER 5356	1,2 mm	DCEP	150	22	26 detik
2	GMAW	ER 5356	1,2 mm	DCEP	150	22	26 detik
3	GMAW	ER 5356	1,2 mm	DCEP	150	22	24 detik

2. Filler Metal ER 5356 ER 5556

Wel Layer	Process	Filler Metal		Curretn		Volt Range	Trevel speed
		Class	Dia	Polarity	Ampere		
1	GMAW	ER 5556	1,2 mm	DCEP	150	22	24 detik
2	GMAW	ER 5356	1,2 mm	DCEP	150	22	28 detik
3	GMAW	ER 5556	1,2 mm	DCEP	150	22	30 detik

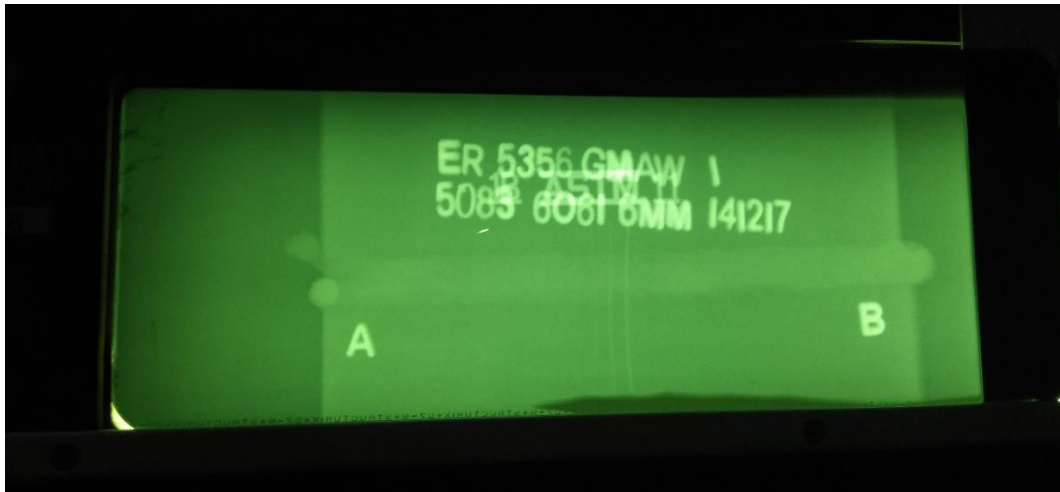
3. Filler Metal ER 5556

Wel Layer	Process	Filler Metal		Curretn		Volt Range	Trevel speed
		Class	Dia	Polarity	Ampere		
1	GMAW	ER 5556	1,2 mm	DCEP	150	22	22 detik
2	GMAW	ER 5556	1,2 mm	DCEP	150	22	25 detik
3	GMAW	ER 5556	1,2 mm	DCEP	150	22	27 detik

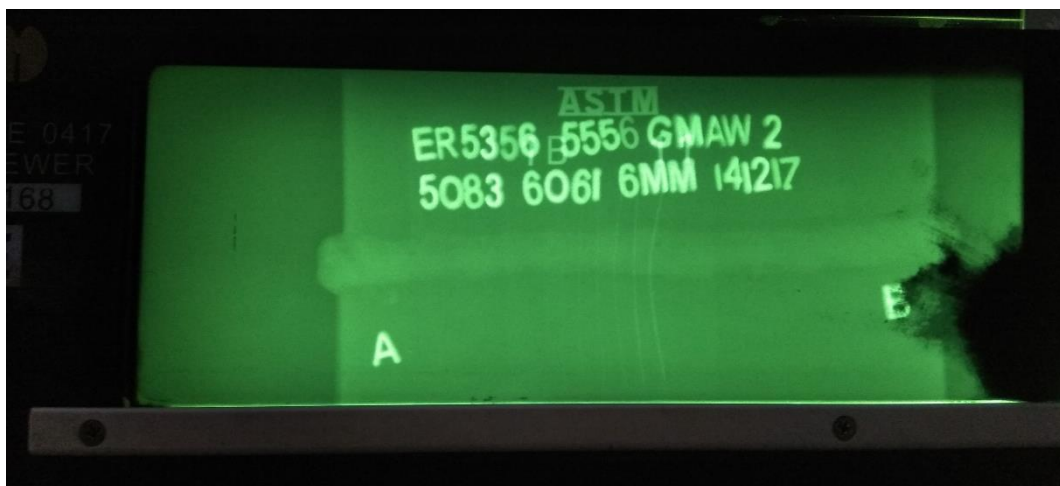
Welding Procedure Specification

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

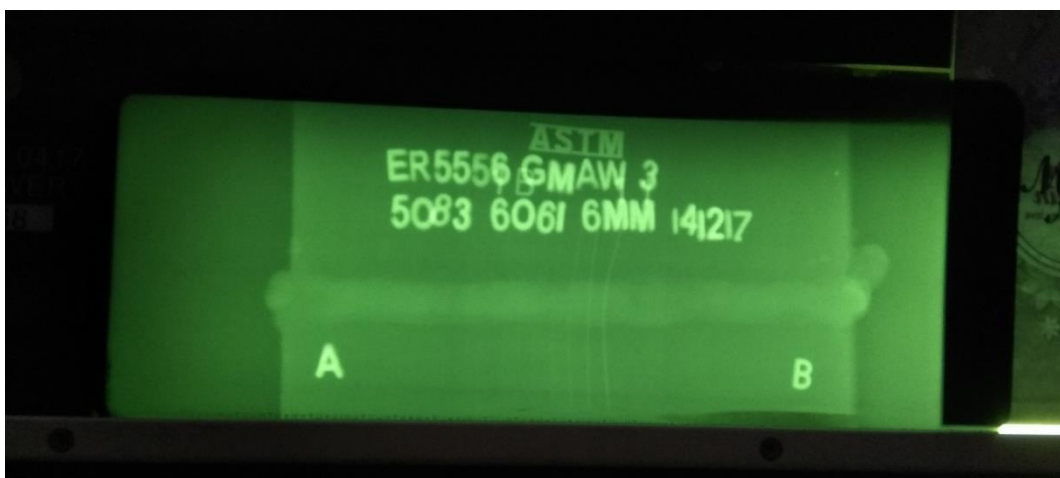
LAMPIRAN B
NDT RADIOGRAPHY



NDT Pengelasan Elektroda ER 5356



NDT Pengelasan Elektroda Campuran ER 5356-ER 5556



NDT Pengelasan Elektroda ER 5556

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN C

PENGUJIAN



Alat Uji Tarik



Spesimen Uji Tarik Parameter 1



Spesimen Uji Tarik Parameter 2



Spesimen Uji Tarik Parameter 3



LABORATORIUM KONSTRUKSI DAN KEKUATAN KAPAL
JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Gedung W – Lantai 1, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp./Fax. 031 599 4933, Email: labkonjtp@gmail.com

REPORT ON TEST RESULT NO. :


/IT2.4.1.1/PM.05.02/20

DATE : 12/02/2018
ORDER FROM :
TEST STANDARD : RINA
MATERIAL SPEC. : 5083 - 6061
FILLER METAL : ER 5356
THICKNESS : 6 mm
WELDING PROCESS : GMAW
WELD POSITION : 1G
WELDER : RAHMAD

TENSION TEST							
Code	SAMPLE SPECIFICATION			TENSILE TEST RESULT			
	Width (mm)	Thick (mm)	C S A (mm ²)	Yield Strength (MPa)	Ultimate Strength (MPa)	Breaking	Elongation
1.1	25.6	6.13	156.928	143.38	167.27	Weld Metal	6.63%
1.2	24.8	6.12	151.776	171.01	194.04	Base Metal	6.78%
1.3	25.2	6.1	153.72	173.22	198.21	Base Metal	6.67%

Note : This report is valid only for specimen tested on the Laboratory of Ships Strength and Construction

Witnessed by,

Tester Laboratory
Ships Strength and Construction

Didik Tjatur Irianto
NIP. 19620115 198103 1 001

Laporan Uji Tarik Pengelasan Elektroda ER 5356



LABORATORIUM KONSTRUKSI DAN KEKUATAN KAPAL
JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Gedung W – Lantai 1, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp./Fax. 031 599 4933, Email: labkonjtp@gmail.com

REPORT ON TEST RESULT NO. : /IT2.4.1.1/PM.05.02/20

DATE : 12/02/2018
ORDER FROM :
TEST STANDARD : RINA
MATERIAL SPEC. : 5083 - 6061
FILLER METAL : ER 5356 & ER 5556
THICKNESS : 6 mm
WELDING PROCESS : GMAW
WELD POSITION : 1G
WELDER : RAHMAD

TENSION TEST							
Code	SAMPLE SPECIFICATION			TENSILE TEST RESULT			
	Width (mm)	Thick (mm)	C S A (mm ²)	Yield Strength (MPa)	Ultimate Strength (MPa)	Breaking	Elongation
2.1	25.3	6.2	156.86	149.82	162.56	Weld Metal	3.33%
2.2	25.17	6.1	153.537	185.62	200.27	Base Metal	4.70%
2.3	25.09	6.1	153.049	187.54	201.61	Base Metal	4.92%

Note : This report is valid only for specimen tested on the Laboratory of Ships Strength and Construction

Witnessed by,

Tester Laboratory
Ships Strength and Construction



Didik Tjatur Irianto
NIP. 19620115 198103 1 001

Laporan Uji Tarik Pengelasan Elektroda Campuran ER 5556 dan ER 5556



LABORATORIUM KONSTRUKSI DAN KEKUATAN KAPAL
JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Gedung W – Lantai 1, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp./Fax. 031 599 4933, Email: labkonjtp@gmail.com

REPORT ON TEST RESULT NO. :

/IT2.4.I.1/PM.05.02/20

DATE : 12/02/2018
ORDER FROM :
TEST STANDARD : RINA
MATERIAL SPEC. : 5083 - 6061
FILLER METAL : ER 5556
THICKNESS : 6 mm
WELDING PROCESS : GMAW
WELD POSITION : 1G
WELDER : RAHMAD

TENSION TEST							
Code	SAMPLE SPECIFICATION			TENSILE TEST RESULT			
	Width (mm)	Thick (mm)	C S A (mm ²)	Yield Strength (MPa)	Ultimate Strength (MPa)	Breaking	Elongation
3.1	25.03	5.95	148.9285	194.72	201.94	Base Metal	3.33%
3.2	25.16	6.2	155.992	197.51	205.66	Base Metal	3.76%
3.3	25.19	6.05	152.3995	197.8	202.78	Base Metal	4.20%

Note : This report is valid only for specimen tested on the Laboratory of Ships Strength and Construction

Witnessed by,

Tester Laboratory
Ships Strength and Construction



Dedik Tjatur Irianto
NIP. 19620115 198103 1 001

Laporan Uji Tarik Pengelasan Elektroda ER 5556

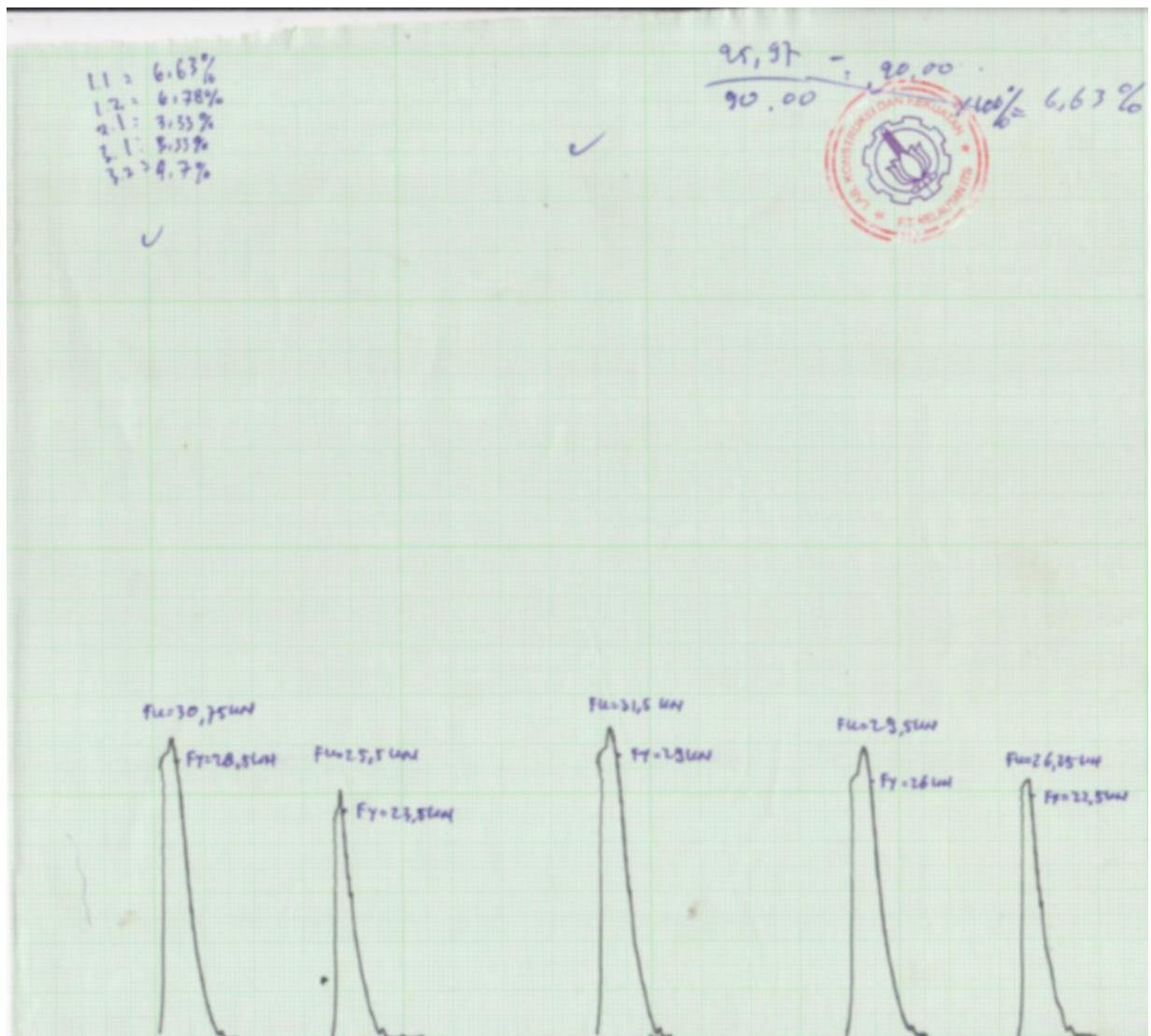


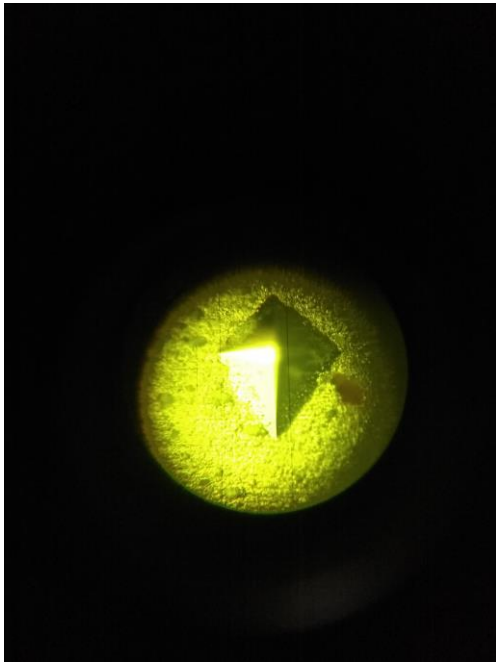
Diagram Hasil Uji Tarik



Spesimen Uji Kekerasan



Spesimen Uji Mikro yang Telah Dietsa



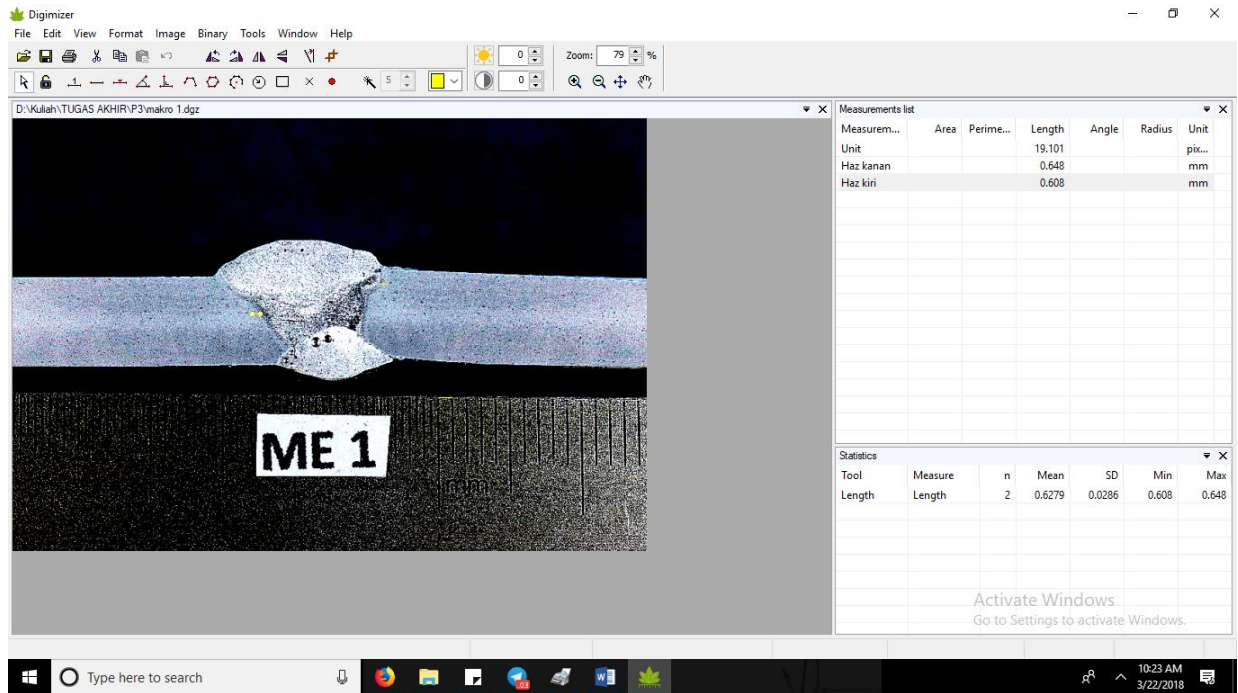
Uji Vickers



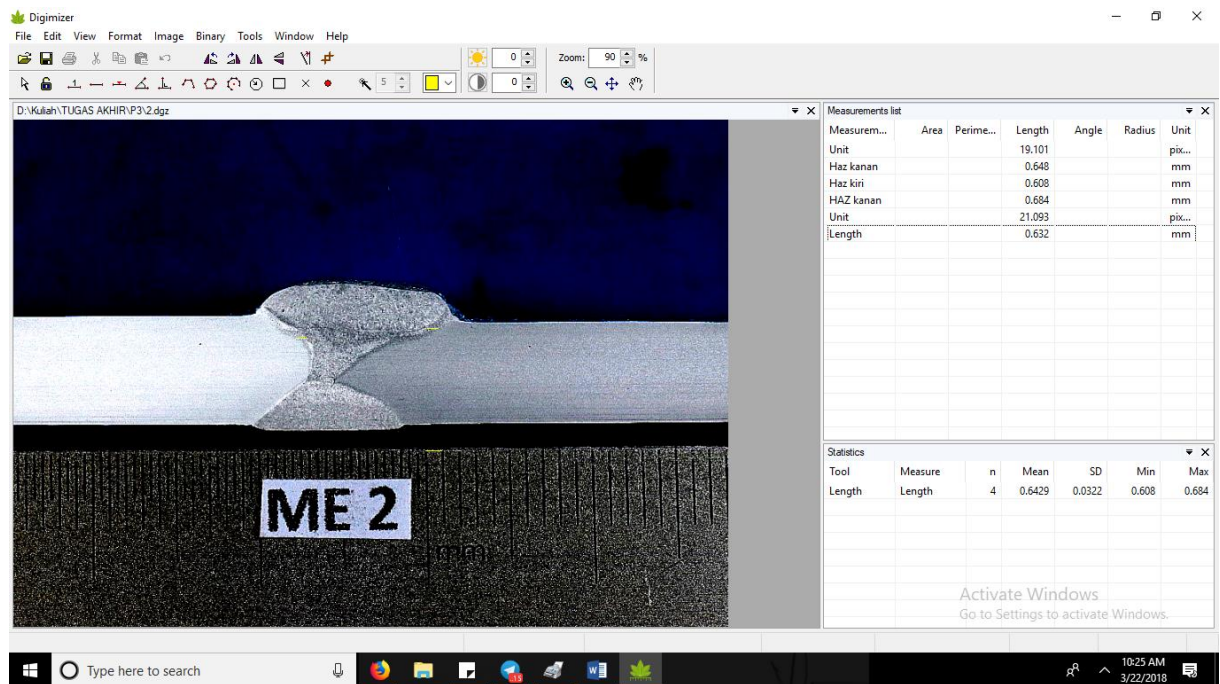
Alat Poles



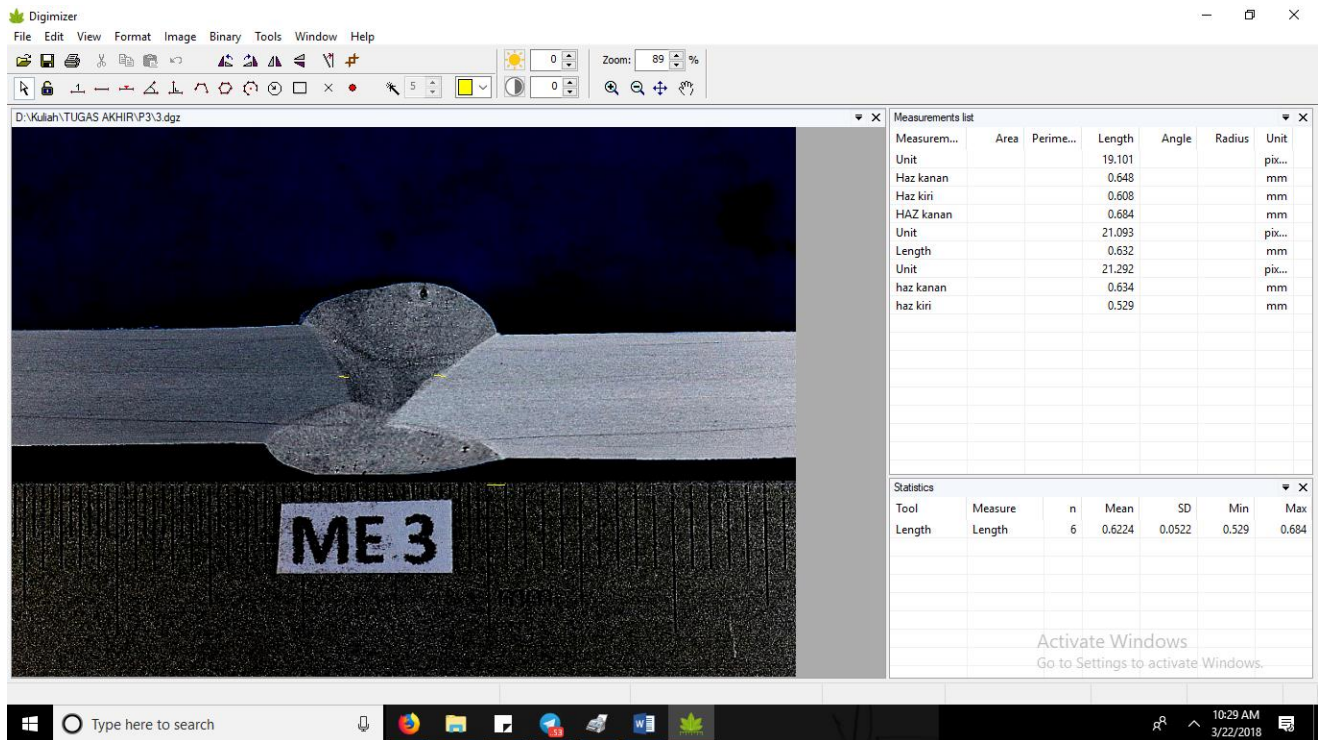
Alat Uji Mikro



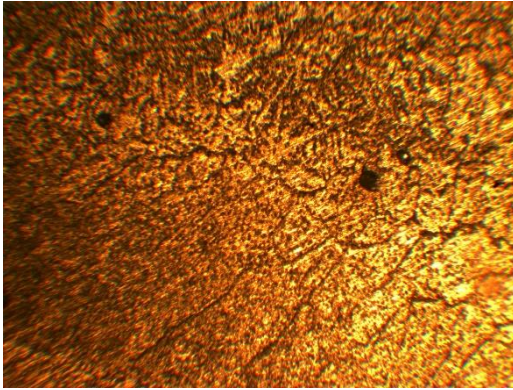
Pengukuran HAZ Spesimen 1 dengan Software Image Processing



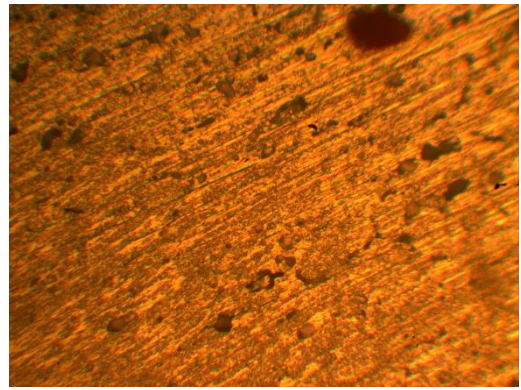
Pengukuran HAZ Spesimen 2 dengan Software Image Processing



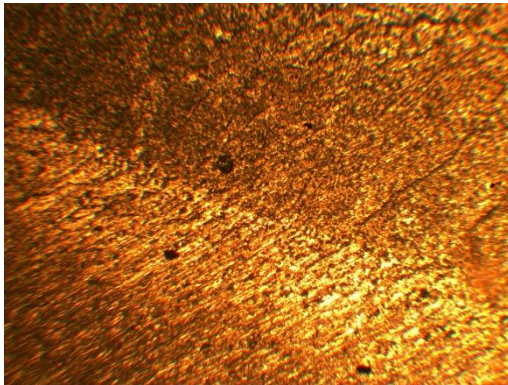
Pengukuran HAZ Spesimen 2 dengan Software Image Processing



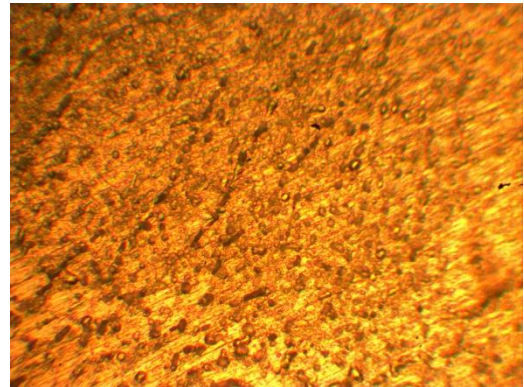
Fusion Line 1 (100X)



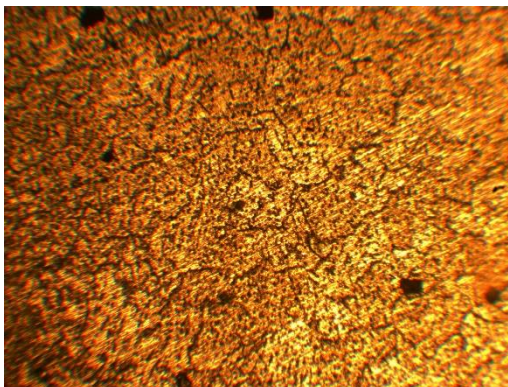
Fusion Line 1 (400X)



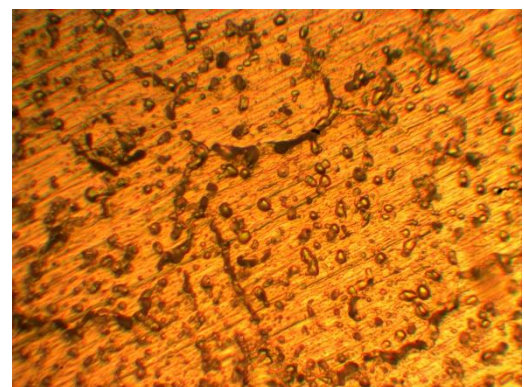
HAZ 1 (100X)



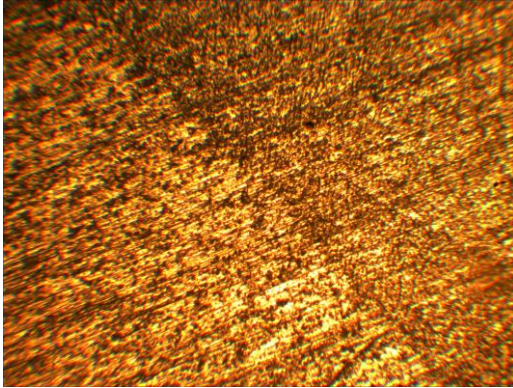
HAZ 1 (400X)



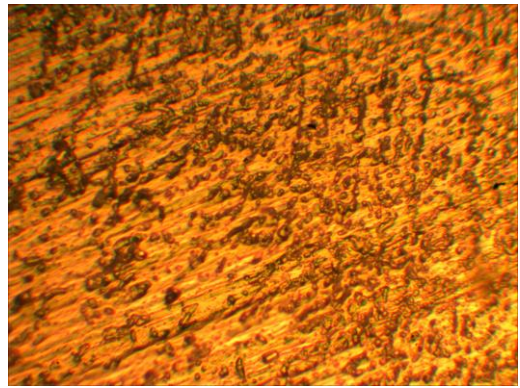
Weld Metal 1 (100X)



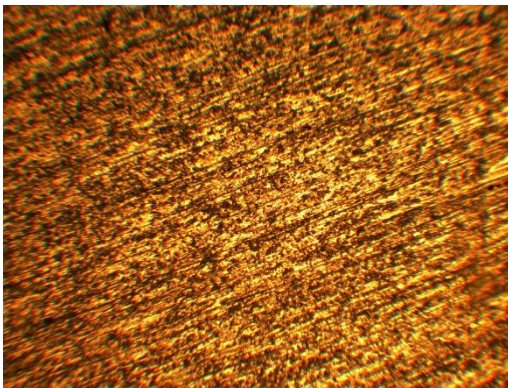
Weld Metal 1 (400X)



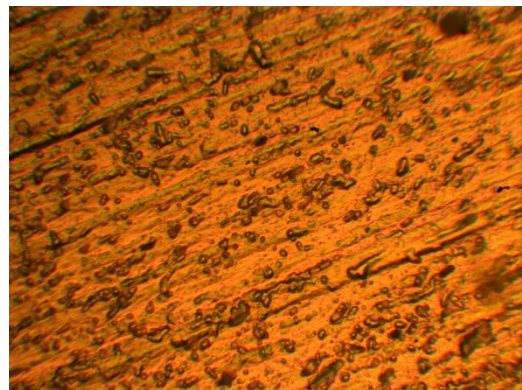
Fusion Line 2 (100X)



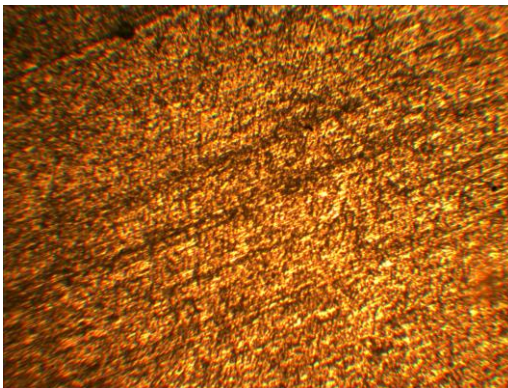
Fusion Line 2 (400X)



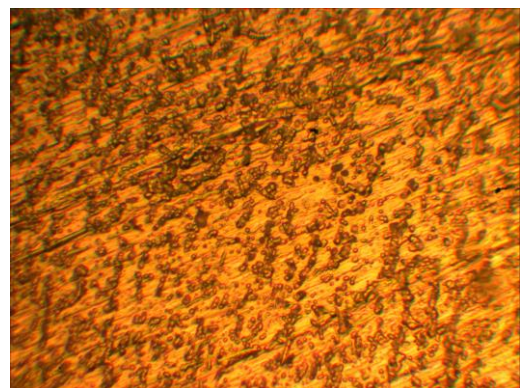
HAZ 2 (100X)



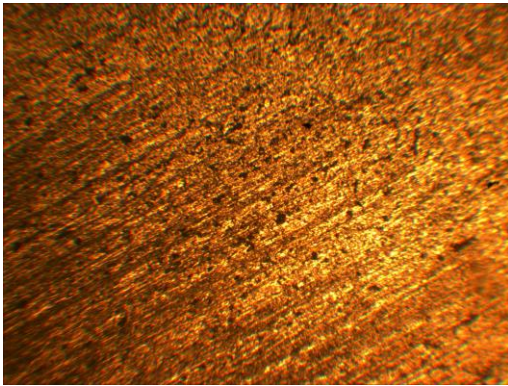
HAZ 2 (400X)



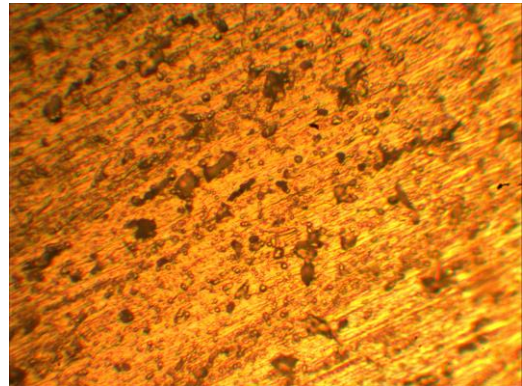
Weld Metal 2 (100X)



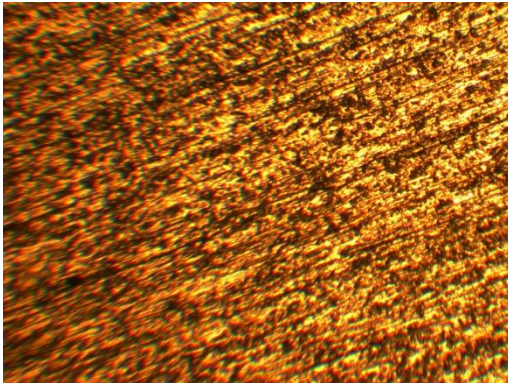
Weld Metal 2 (400X)



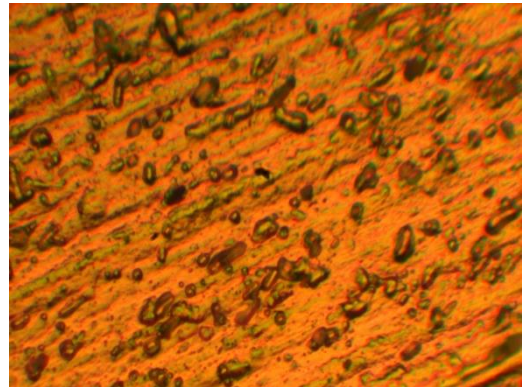
Fusion Line 3 (100X)



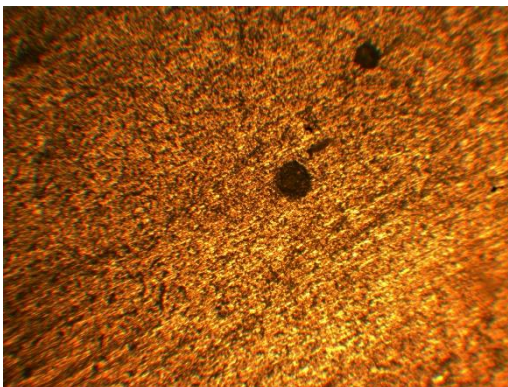
Fusion Line 3 (400X)



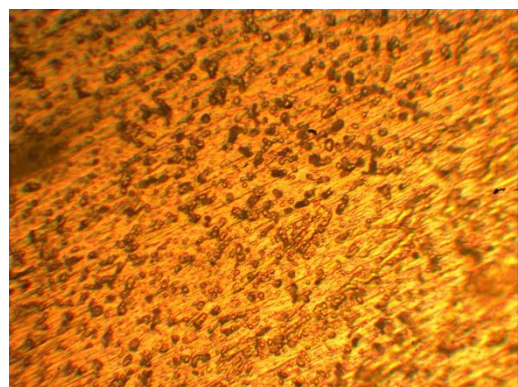
HAZ 3 (100X)



HAZ 3 (400X)



Weld Metal 3 (100X)

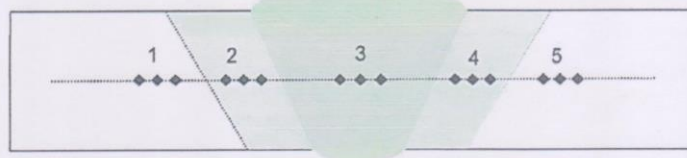


Weld Metal 3 (400X)

REPORT ON TEST RESULT NO. : /IT2.4.1.1/PM.05.02/20

DATE : 12/02/2018
ORDER FROM :
TEST STANDARD : ASTM E92
MATERIAL SPEC. : 5083 - 6061
FILLER METAL : ER 5556
THICKNESS : 6 mm
WELDING PROCESS: GMAW
WELD POSITION : 1G
WELDER : RAHMAD

3. HARDNESS TEST



Lokasi	Vickers Hardness Number (HV. 1)														
	Base Metal			HAZ			Weld Metal			HAZ			Base Metal		
	1			2			3			4			5		
B	72.95	78.00	75.78	79.42	79.28	80.07	76.82	84.45	72.84	75.90	71.37	73.50	70.23	68.17	69.58
Average	75.58			79.59			78.04			73.59			69.33		
Equipment: Micro Vickers Hardness Tester, Model: TH 712, Time Group INC, China															

Equipment: Micro Vickers Hardness Tester, Model: TH 712, Time Group INC, China

Witnessed by,

Tester Laboratory
Ships Strength and Construction



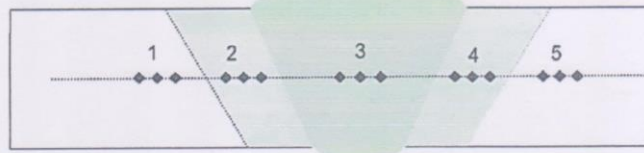
Didik Tjatur Irianto
NIP. 19620115 198103 1 001

Laporan Uji Kekerasan Pengelasan Elektroda ER 5556

REPORT ON TEST RESULT NO. : /IT2.4.1.1/PM.05.02/20

DATE : 12/02/2018
ORDER FROM :
TEST STANDARD : ASTM E92
MATERIAL SPEC. : 5083 - 6061
FILLER METAL : ER 5356
THICKNESS : 6 mm
WELDING PROCESS: GMAW
WELD POSITION : 1G
WELDER : RAHMAD

3. HARDNESS TEST



Lokasi	Vickers Hardness Number (HV. 1)														
	Base Metal			HAZ			Weld Metal			HAZ			Base Metal		
	1			2			3			4			5		
B	64.40	65.03	61.38	72.55	75.41	74.87	63.47	54.66	64.17	54.94	57.20	58.94	58.45	61.56	67.06
Average	63.60			74.28			60.77			57.03			62.36		

Equipment: Micro Vickers Hardness Tester, Model: TH 712, Time Group INC, China

Witnessed by,

Tester Laboratory
Ships Strength and Construction



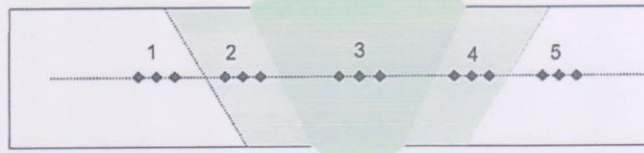
Didik Tjatur Irianto
NIP. 19620115 198103 1 001

Laporan Uji Kekerasan Pengelasan Elektroda ER 5356

REPORT ON TEST RESULT NO. : /IT2.4.1.1/PM.05.02/20

DATE : 12/02/2018
ORDER FROM :
TEST STANDARD : ASTM E92
MATERIAL SPEC. : 5083 - 6061
FILLER METAL : ER 5356 & ER 5556
THICKNESS : 6 mm
WELDING PROCESS: GMAW
WELD POSITION : 1G
WELDER : RAHMAD

3. HARDNESS TEST



Lokasi	Vickers Hardness Number (HV. 1)														
	Base Metal			HAZ			Weld Metal			HAZ			Base Metal		
	1			2			3			4			5		
B	70.00	70.88	68.08	64.31	66.64	68.32	65.50	63.79	65.88	56.92	55.41	54.70	53.17	51.91	49.24
Average	69.65			66.42			65.06			55.68			51.44		

Equipment: Micro Vickers Hardness Tester, Model: TH 712, Time Group INC, China

Equipment: Micro Vickers Hardness Tester, Model: TH 712, Time Group INC, China

Witnessed by,

Tester Laboratory
Ships Strength and Construction



Didik Tjatur Irianto
NIP. 19620115 198103 1 001

Laporan Uji Kekerasan Pengelasan Elektroda Campuran ER 5356 dan ER 5556

BIODATA PENULIS



Achmad Mikail Rizki lahir di Surabaya, 2 Januari 1996 dan merupakan anak pertama dari empat bersaudara. Pendidikan SD dan SMP ditempuh di SD Muhammadiyah GKB dan SMPN 1 Gresik. Sedangkan Pendidikan SMA dilanjutkan di SMAN 1 Gresik. Setelah lulus jenjang SMA, penulis melanjutkan Pendidikan perguruan tingginya di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama masa perkuliahan, penulis aktif dalam kegiatan

organisasi dan akademik. Penulis pernah mendapatkan juara satu pada perlombaan Oil Rig Design Competition di Universitas Trisakti, menjadi ketua *Oil Rig Club* Teknik Kelautan pada tahun 2016-2017, menjadi ketua divisi *Science Course Society of Petroleum Engineer ITS Student Chapter* pada tahun 2015-2016, menjadi *Bentley System Student Ambassador* pada tahun 2016-2018, dan sempat menjadi anggota dari Laboratorium Hidrodinamika Departemen Teknik Kelautan ITS. Pada tahun 2017, penulis melaksanakan Kerja Praktek di PT. RINA Indonesia selama dua bulan dibawah bagian *structural plan approval* dan *marine surveyor*. Kemudian pada tahun 2018, penulis mulai mengerjakan Tugas Akhir sebagai syarat kelulusan Pendidikan Sarjana (S-1) dengan mengambil bidang keahlian Perancangan dan Produksi Bangunan Laut dengan judul “**Analisis Pengaruh Variasi Elektroda Pada Pengelasan Aluminium 5083 Dengan 6061 Terhadap Sifat Mekanik, Struktur Mikro, dan Prediksi Korosi**”.

Kontak Penulis

Email : amikailr@gmail.com